ACÉL

Az acél gyártása és tulajdonságai

Dr. Kausay Tibor
BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Budapest, 2017. február;
frissítve: 2018. február

AZ ACÉLGYÁRTÁS TERMÉKEINEK RÖVID ISMERTETÉSE

Vasérc

Vasércnek az olyan vastartalmú kőzeteket (vaskőzeteket) nevezzük, amelyekben a vastartalmú ásványok koncentrációja már olyan magas fokú (legalább 25 tömeg%), hogy azokat kohászati úton érdemes feldolgozni. A vasérc-féleségek a vas- és acélgyártás kiindulási nyersanyagai, amelyek közül a legfontosabbak: hematit (vörösvasérc), magnetit (mágnesvasérc), limonit (barnavasérc), sziderit (pátvasérc), fayalit (szilikátos vasérc).

Nyersvas

A nyersvasat vasércből, nagyolvasztó kohóban állítják elő. Az előkészített (meddőtlenített, aprított, osztályozott, kevert, pörkölt stb.) vasércet koksszal és olvadáspontot csökkentő hozaganyaggal helyezik a kohóba. Az olvadáspont csökkentő, salakképző hozaganyag rendszerint mészkő, dolomit, bauxit.

A kohóból kikerülő nyersvas egy vasötvözet, amelynek széntartalma 2,5 - 5,0 tömeg%, és amely rendszerint 1 - 4 tömeg%-ban tartalmaz szennyezőket: mangánt, szilíciumot, ként, foszfort stb.

A nyersvas-termelésnek kb. 10 - 15 tömeg%-át *öntödei célokra* használják fel, a többiből *acélt* gyártanak.

A nyersvasgyártás melléktermeke a kohósalak.

A nagyolvasztó kohósalak a nyersvas előállításakor keletkező szilikátolvadék (*nyersvas-gyártási* melléktermék).

Ha a forró, folyékony kohósalakot 1 - 7 cm vastagságú rétegekben nagyméretű ágyba öntik, és egyenletesen, lassan (8 - 10 nap) hagyják lehűlni, akkor *darabos kohósalakot* nyernek. Ennek szerkezete tömör, és a hűtés során az önsúly-nyomás hatására átkristályosodik.

Belőle töréssel, osztályozással feltöltési anyag, szórt útalap, út és vasúti felépítményi kohósalakkő, betonadalékanyag állítható elő.



Alkalmas útpályák „szórt alapja”, valamint ágyazatok, feltöltések készítésére. Szemnagysága 0 – 140 mm.

Ha a forró, folyékony kohósalakot egyenletesen eloszlatva, perforált, habosító tálcára juttatják, és a perforált falon át 4 - 5 atü nyomással vizet nyomnak, akkor a vízsugár a beömlő forró salakkal érintkezve gőzzé válik, és a salakot habosítja. A még izzó, de már habosított salak a hűtőtérre kerül, ahol lassan hűlve átkristályosodik.

Ez a *habosított kohósalak*, amely törve és osztályozva hőszigetelő anyagként, vízszűrő anyagként, könnyűbeton-adalékanyagként hasznosítható.

- **atü (Atmosphäre Überdruck) =**
  az att atmoszféra túlnyomás német megfelelője

- **1 att (a technikai atmoszféra túlnyomása) =**
  az 1 at feletti nyomás

- **1 at (technikai atmoszféra) = 1 kp/cm^2= 98066,5 N/m^2 =**
  0,980665 bar = 0,967841 atm

Ha a forró, tűzfolyós kohósalak-olvadékot ún. granulálótoronyban vízzel gyorsan hűtik le, akkor szemcsés szerkezetű, nagyrészt üveges állapotú, ún. *granulált kohósalak* keletkezik, amelynek rejtett hidraulikus tulajdonsága van.

A granulált kohósalak-zagyot víztelenítik, miáltal víztartalma jelentősen lecsökken.

A granulálás során keletkező vízgőzt kondenzálják (lehűtik folyékony vízzé), és a befecskendezett többletvízzel együtt a forró víz tárolóban összegyűjtve vezetik a víz-körfolyamatba.

A granuláláshoz szükséges vizet az így visszanyert vízhez mintegy 0,5 m^3/(kohósalak tonna) friss vizet keverve állítják elő.

A granulált kohósalak portlandcement-klinkerrel, égetett darabos mésszel, égetett dolomittal, anhidrittel együtt finomra őrölve, és vízzel keverve, vagy önmagában finomra őrölve, és gerjesztőkkel (portlandcement, mészhidrát, őrölt égetett mész), valamint vízzel keverve, víz alatt is megszilárduló kötőanyaggá válik.

Van olyan cementgyár is, ahol a granulált kohóhsalakot golyósmalomban külön őrlik, és az őrölt granulált kohósalakot a megőrölt portlandcement-klinkerhez (tulajdonképpen a portladcementhez) keverik.

Ennél fogva az őrölt granulált kohósak (kohósalakliszt) felhasználása alapvetően kétféle:

1) A granuált kohósalakot

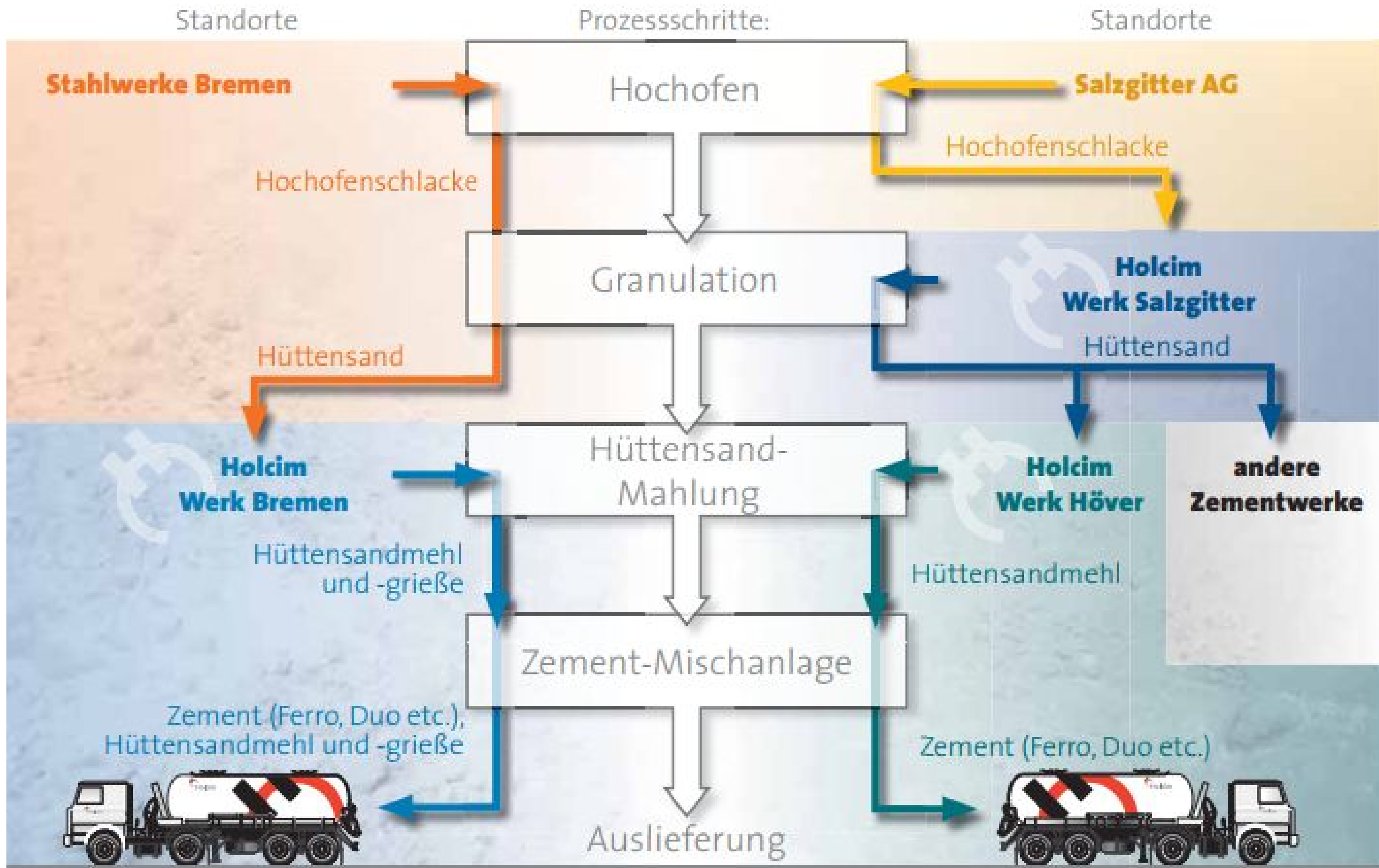
- a lehűlt portlandcement-klinkerhez keverik, és a keveréket golyós- vagy görgősmalomban megőrölve (együttőrlés),

- vagy a külön őrölt granulált kohósalakot a portlandcementhez keverve

gyártják a a CEM II kspc jelű kohósalak-portlandcementet és a CEM III ksc jelű kohósalakcementet.

2) Az őrölt granulált kohósalakot (kohósalaklisztnek is nevezik) a beton készítése során külön keverik a beton összetevőihez. Az így felhasználható őrölt granulált kohósalakot rejtett hidraulikus (vízzel kötőképes) tulajdonságánál fogva a II. típusú kiegészítőanyagok csoportjába sorolják.

Kohósalaktermékek gyártásának vázlata



Forrás: http://www.holcim.de/uploads/DE/HolcimDeutschland_Umweltdaten2006_Bremen_SG.pdf

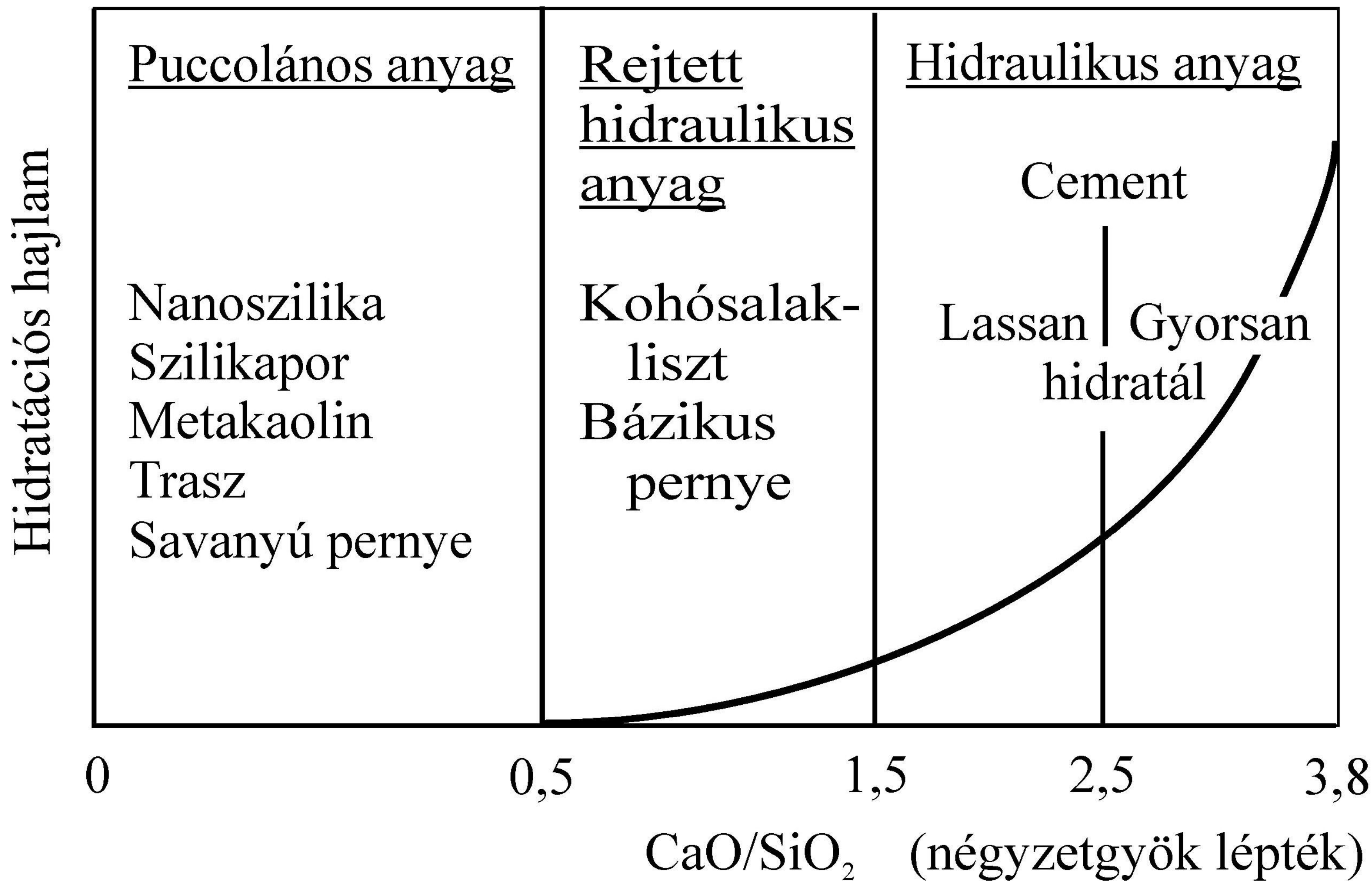
A kiegészítőanyagok finom szemű szervetlen (esetleg szerves) anyagok, amelyeket a beton egyes tulajdonságainak javítására, vagy különleges tulajdonságainak kialakítására szokás alkalmazni. Nem tévesztendők össze az adalékszerekkel.

A szervetlen kiegészítőanyagok az MSZ EN 206:2014 (és MSZ 4798:2016) betonszabvány szerint I. típusú inert (a cement kötési-szilárdulási folyamatát *nem* befolyásoló) kiegészítőanyagok vagy II. típusú aktív (a cement kötési-szilárdulási folyamatát befolyásoló) kiegészítőanyagok lehetnek.

Az őrölt granulált kohósalak aktív (II. típusú) kiegészítőanyag.

Aktív (II. típusú) kiegészítőanyagnak, *hidraulitnak* (vagy egyszerűen hidraulikus kiegészítőanyagnak) a *puccolános* és a *rejtett (latens) hidraulikus* tulajdonságú anyagok összességét nevezzük.

A hidraulitok amorf, üveges szerkezetű anyagok.


Puccolános anyag
Rejtett hidraulikus anyag
Hidraulikus anyag
Cement
Nanoszilika
Szilikapor
Metakaolin
Trasz
Savanyú pernye
Kohósalak-liszt
Bázikus pernye
Lassan
Gyorsan
hidratál
Hidratációs hajlam
0
0,5
1,5
2,5
3,8
CaO/SiO_2 (négyzetgyök lépték)

Öntöttvas és öntöttacél

Öntödei termék a nyersvasból előállított öntöttvas és öntöttacél.

Az öntöttvas széntartalma több, mint 2,06 tömeg%, míg az öntöttacél széntartalma legfeljebb 2,06 tömeg%.

Az öntöttvasból például szürkevas-öntvényeket gyártanak, az építőiparban szerkezeti anyagként ridegsége, kis húzószilárdsága miatt ma már nem igen használják. (*Az első budapesti Lánchíd kereszttartói öntöttvasból készültek*.) Az öntöttvas fajták esetén különbséget kell tenni a húzószilárdság és az annál jóval nagyobb nyomószilárdság között.

Az öntöttacélból nagyszilárdságú acélöntvényeket, például *tartószerkezetekhez sarukat, csuklókat* gyártanak.

Bár a 2,06 tömeg%-nál kisebb széntartalmú vasfajtákat acéloknak nevezik, az öntöttacélt nem szokás a tulajdonképpeni acélok közé sorolni.

Acél

Az acélt nyersvasból gyártják. Az acélgyártásnak többféle módja van:

Konverteres (konverter = a nyersvas hevítésére használt körte vagy henger alakú tartály) eljárások, például Bessemer-, Thomas-eljárás, amelyekkel csak speciális összetételű nyersvasakat lehet feldolgozni;

Martin-eljárás (Siemens-Martin eljárás), amely a nyersvas összetételére nem kényes. A Martin-kemence váltakozó lángjárású gázkemence. (A Siemens-Martin eljárást fokozatosan korszerűbb acélgyártási módszerek váltják fel.)

Siemens-Martin-salak (Martin salak)

A nagyolvasztó kohóból kikerülő nyersvas további tisztítás céljából például a Siemens-Martin kemencébe kerül. A Siemens-Martin kemence az acélgyártás eszköze.

A *Siemens-Martin-salak* (Martin salak) a Martin-eljárás szerinti acélgyártás során keletkezik, tehát *acél-gyártási* melléktermék. A Martin-salak sokkal több szennyező anyagot tartalmaz, mint a kohósalak, a kétféle salak között összetétele és eltérő tulajdonságai folytán éles különbséget kell tenni.

Például az ózdi Martin-salakot sajnos az 1990-es évek elején felhasználták beton-adalékanyagként, de az néhány év alatt a beton tönkremenetelét okozta. Ennek az volt az oka, hogy az ózdi Martin-acélsalak szabad magnézium-oxidot (periklászt) tartalmaz, amely nedvesség (a levegő páratartalma) hatására a betonban lassan beoltódik, és dolomit-mészhidráttá (brucittá) átalakulva térfogatát kétszeresére növeli, és a megszilárdult betont összerepeszti.

A betont a Martin-salak kéntartalma is károsíthatja.

Az építőipari acélok széntartalma kevesebb, mint 1,7 tömeg%.

Főbb csoportosításuk az alakítás, a tulajdonságok, a felhasználás szerint a következő:

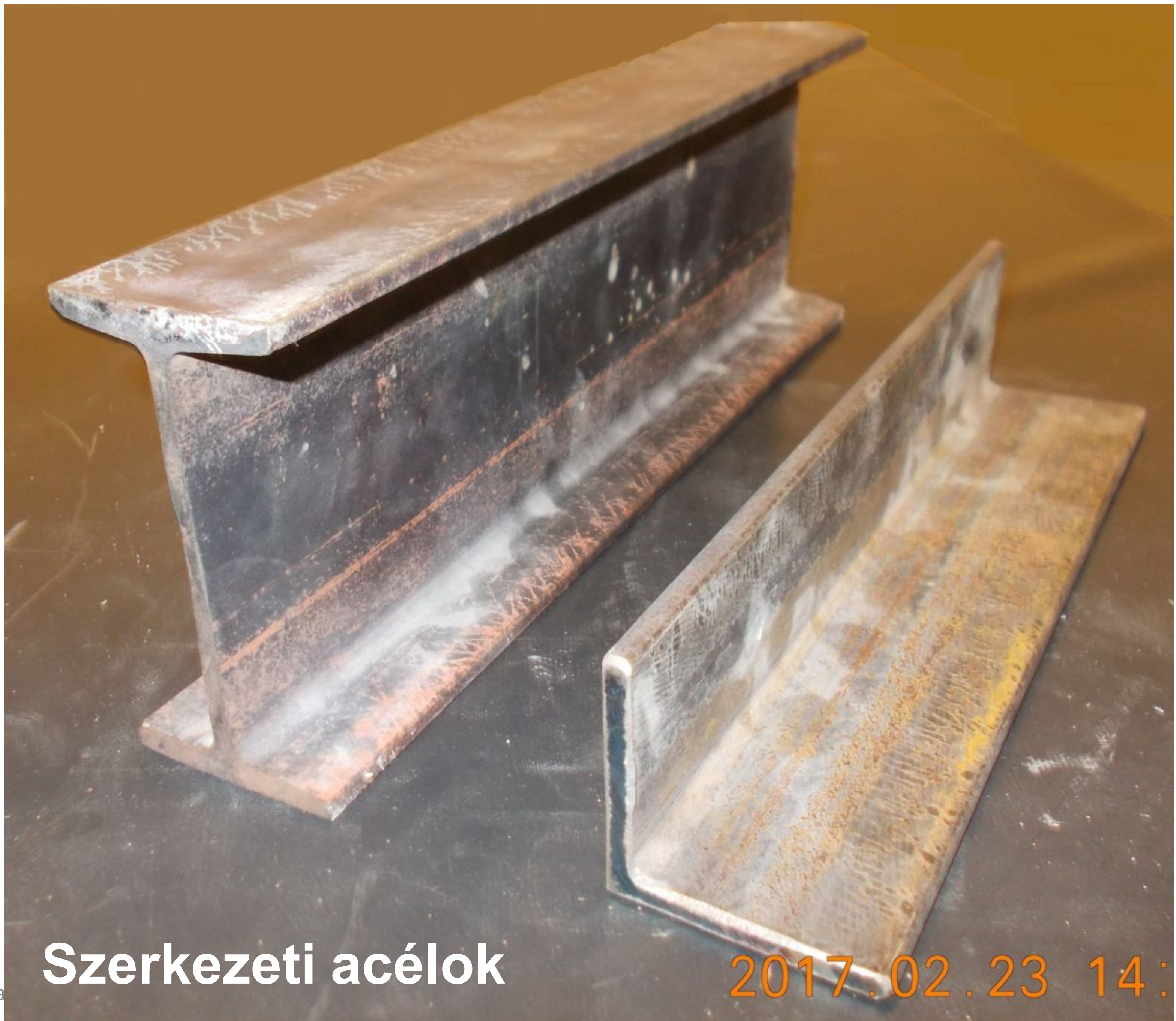
Melegen hengerelt szerkezeti acélok;

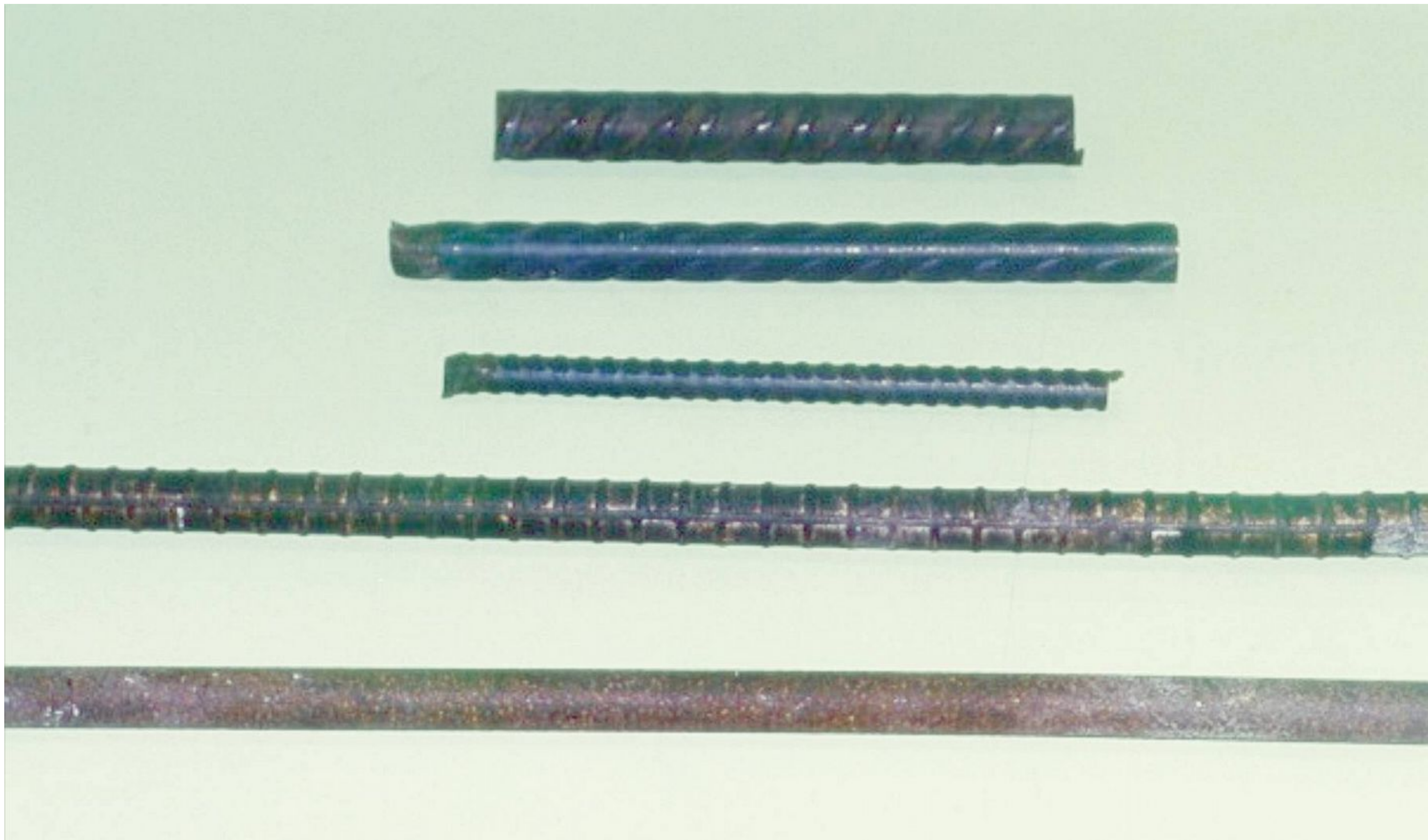
Melegen hengerelt betonacélok;

Hidegen alakított (hidegen hengerelt és hidegen húzott) betonacélok;

Hidegen húzott feszítőacélok (feszítőhuzal, feszítőpászma);

Melegen hengerelt feszítőacél (feszítőrúd).


Szerkezeti acélok
2017.02.23 14:



Melegen hengerelt betonacélok

A betonacélok mechanikai és technológiai tulajdonságai

1. táblázat

Az acélminőség jele	Névleges átmérő d vagy d_1	Szakító-szilárdság R_m N/mm² legalább	Folyáshatár[1] R_{eH} N/mm²	Szakadási nyúlás A_s % legalább	A hideghajlítás[2] tüske-átmérője	A hideghajlítás[2] hajlítási szöge	A szelvény alakja
B 38.24	6–40	370	235	25	d	180°	Kör
B 38.24B			235–420				
B 50.36	8–40	490	350	23	2 d_1		Az 1. ábra szerinti csavarható bordás
B 60.40	8–40	590	390	14	3 d_1	90°	A 2. ábra szerinti nyílbordás
B 60.50 S[3]	6–12		490		3 d	180°	Kör
B 60.50	8–28			18	3 d_1		A 3. ábra szerinti csavarbordás
B 75.50	8–16	740		10	4 d_1	90°	A 4. ábra szerinti csavarbordás

[1] Ha az acélnak nincs élesen jelentkező folyáshatára, akkor az értékek R_{eH} helyett $R_{t0,5}$-re vonatkoznak. A folyáshatárt – a B 38.24 B jelű betonacél kivételével – a 3.5.3. szakasz szerint kell minősíteni.

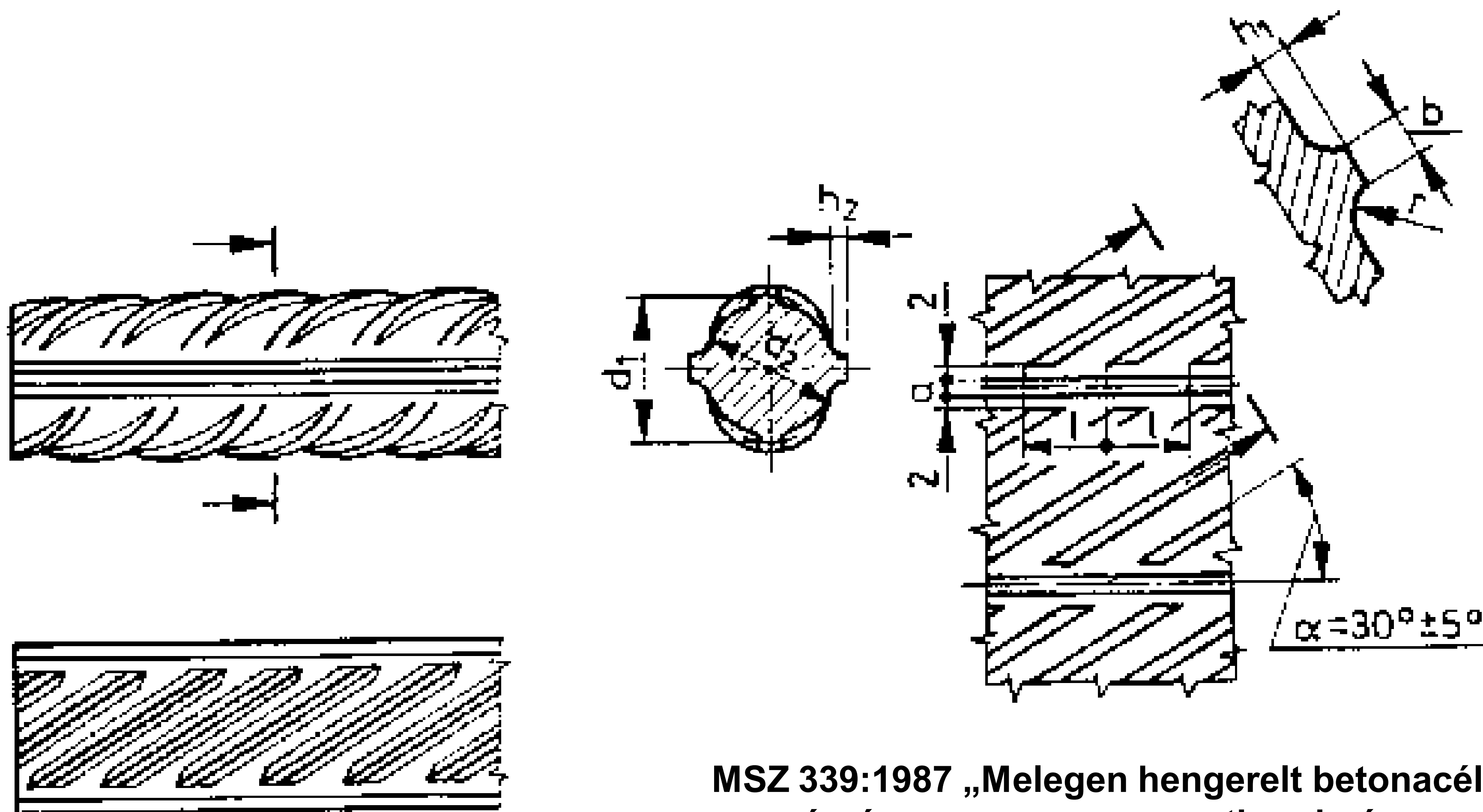
[2] A betonacélnak a hajlítást repedés vagy törés nélkül kell viselnie.

[3] A B 60.50 S jelű betonacélt csak hegesztett síkhálók készítéséhez szabad alkalmazni.

MSZ 339:1987 „Melegen hengerelt betonacél” érvényes magyar nemzeti szabvány

Vasbeton szerkezetbe ma már csak olyan betonacélt szabad beépíteni, amelynek a folyáshatára legalább 490 N/mm²

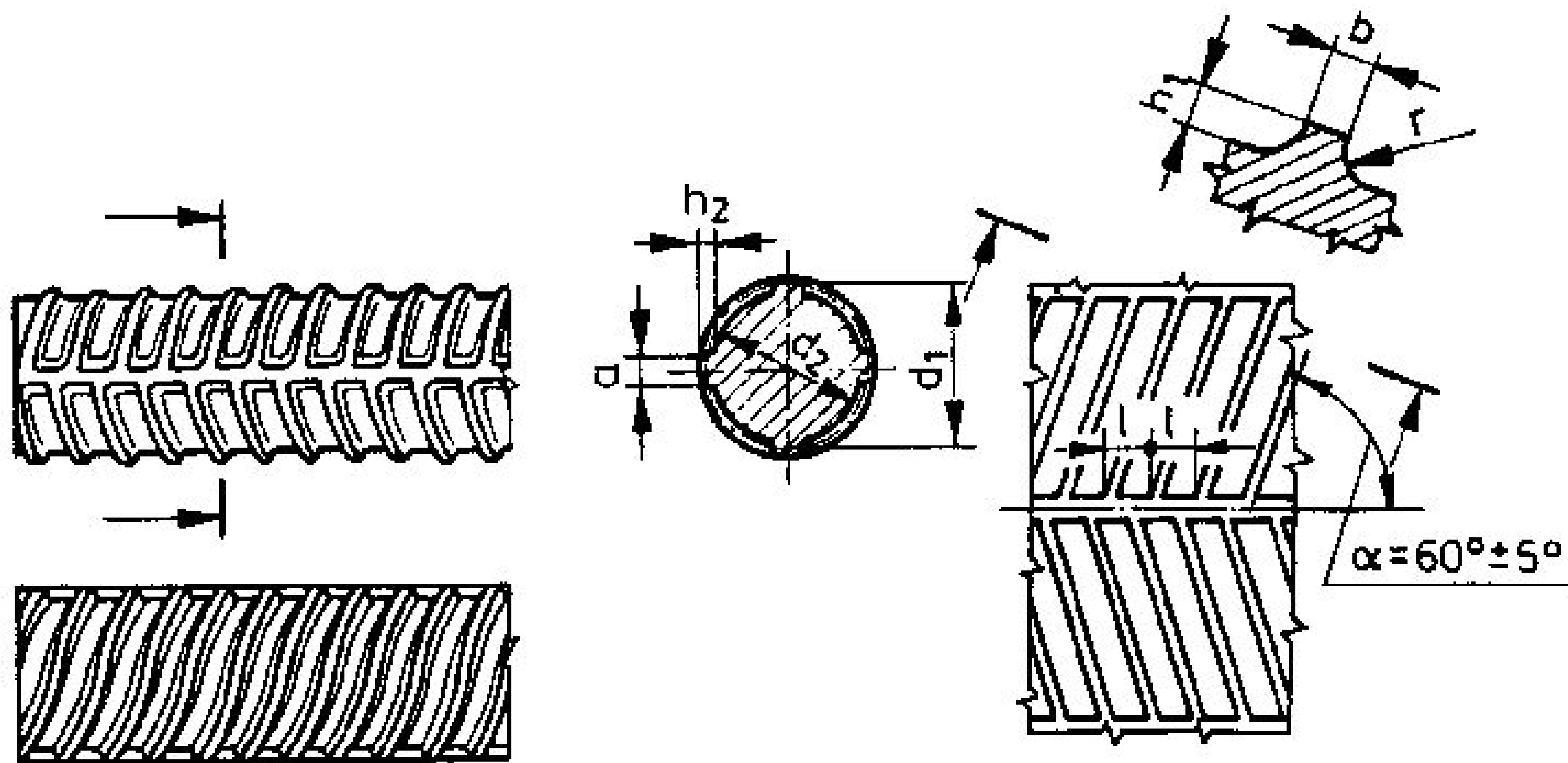
A **B 50.36** jelű csavarható bordás betonacél alakja és bordakiképzése feleljen meg az 1. ábrának, mé
a 4. táblázat előírásainak.



MSZ 339:1987 „Melegen hengerelt betonacél” érvényes magyar nemzeti szabvány

1. ábra

A **B 60.40** jelű nyílbordás betonacél alakja és bordakiképzése feleljen meg a 2. ábrának, méretei táblázat előírásainak.

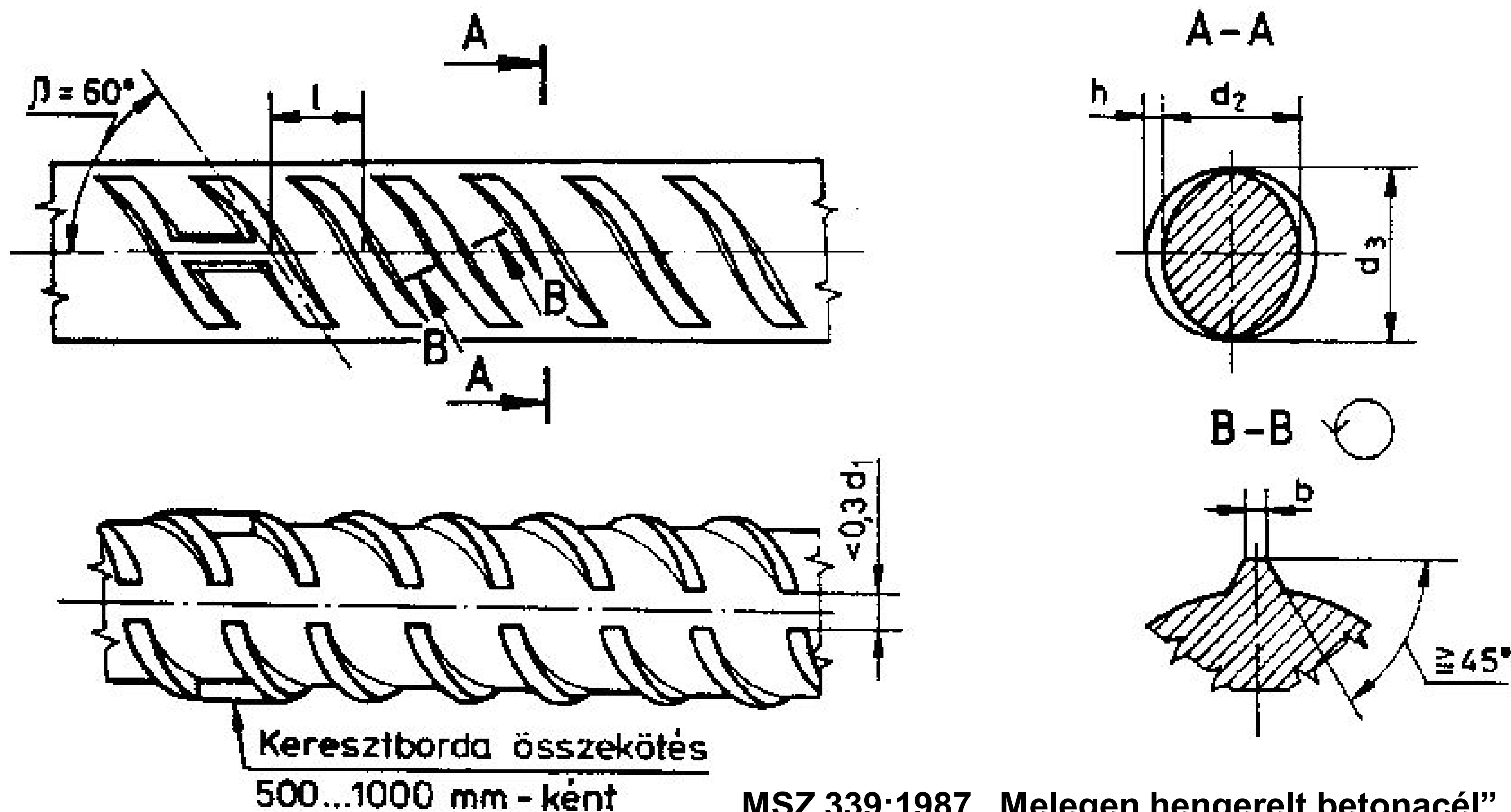


2. ábra

MSZ 339:1987 „Melegen hengerelt betonacél" érvényes magyar nemzeti szabvány

4. A **B 60.50** jelű csavarbordás betonacél alakja és bordakiképzése feleljen meg a 3. ábrának, méretei pedig táblázat előírásainak.

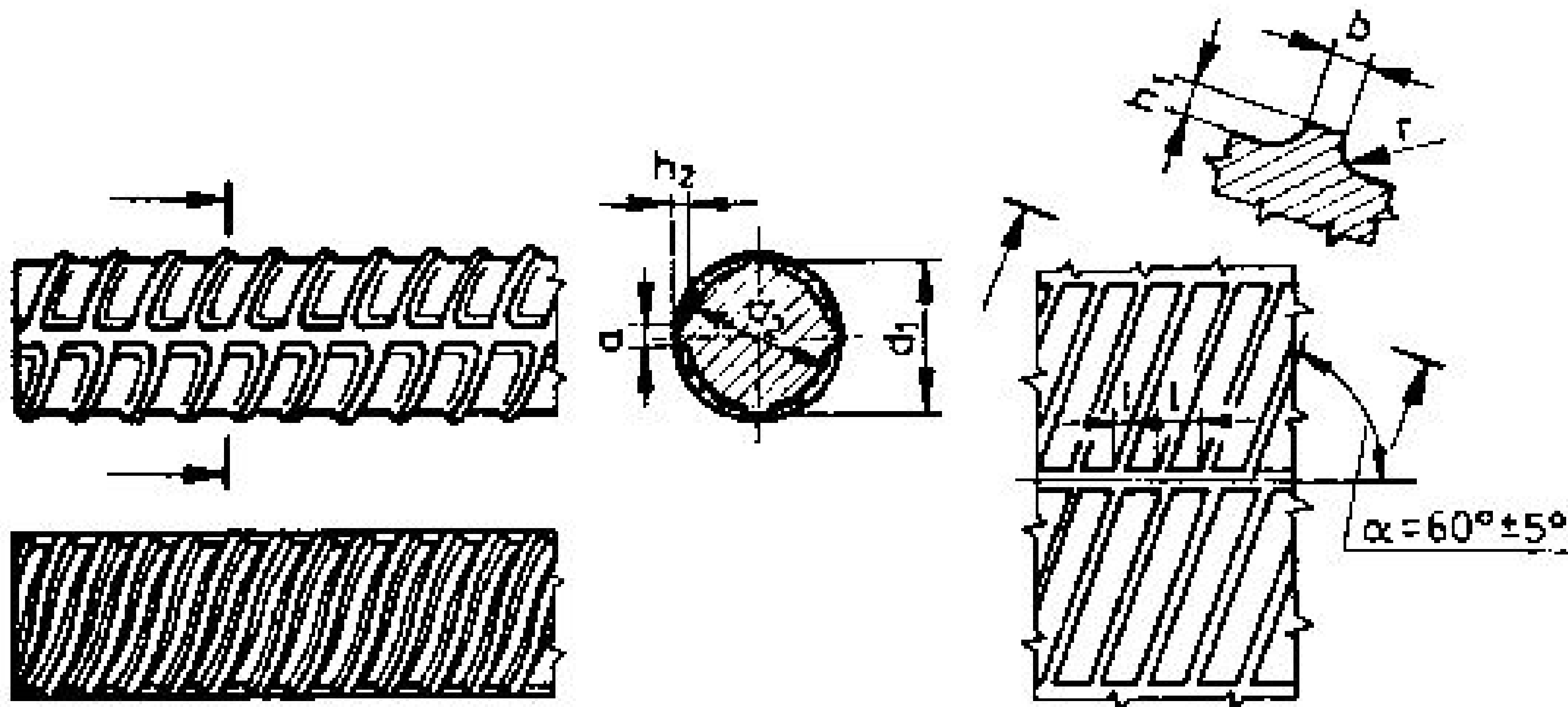
Az egyenes szálakban szállított betonacélon hosszborda jelenléte nem kifogásolható.



MSZ 339:1987 „Melegen hengerelt betonacél" érvényes magyar nemzeti szabvány

3. ábra

A **B 75.50** jelű csavarbordás betonacél alakja és bordakiképzése feleljen meg a 4. ábrának, méretei pedig táblázat előírásainak.

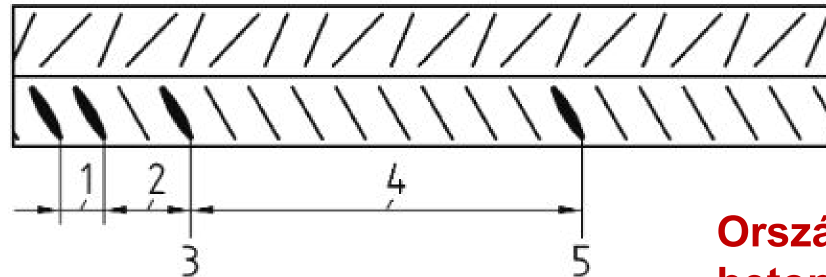


4. ábra

MSZ 339:1987 „Melegen hengerelt betonacél” érvényes magyar nemzeti szabvány

8.2.2.3 Die Werkkennzeichen müssen sich auf dem Stab in Abständen von max. 1,5 m wiederholen.

A jelnek 1,5 m-ként ismétlődnie kell.



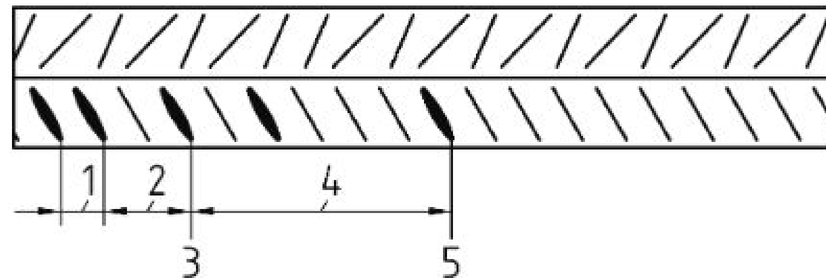
Ország és gyártómű jelölése betonacélon a borda-kiosztással a DIN 488-1:2009 szabvány szerint

Legende

1 Anfang
2 Land (1)
3 Trennung
4 Werk (8)
5 Ende

a) — Werkkennzeichnung mit einstelliger Werknummer

a) A gyártómű jelölése egyjegyű számmal



1 Anfang = Jel kezdete
2 Land = Ország
3 Trennung = Határólójel
4 Werk = Gyártómű
5 Ende = A jel vége

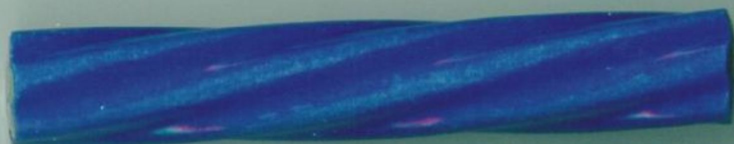
Legende

1 Anfang
2 Land (1)
3 Trennung
4 Werk (13)
5 Ende

b) — Werkkennzeichnung mit zweistelliger Werknummer

b) A gyártómű jelölése kétjegyű számmal

Bild 4 — Werkkennzeichnung von Betonstabstahl





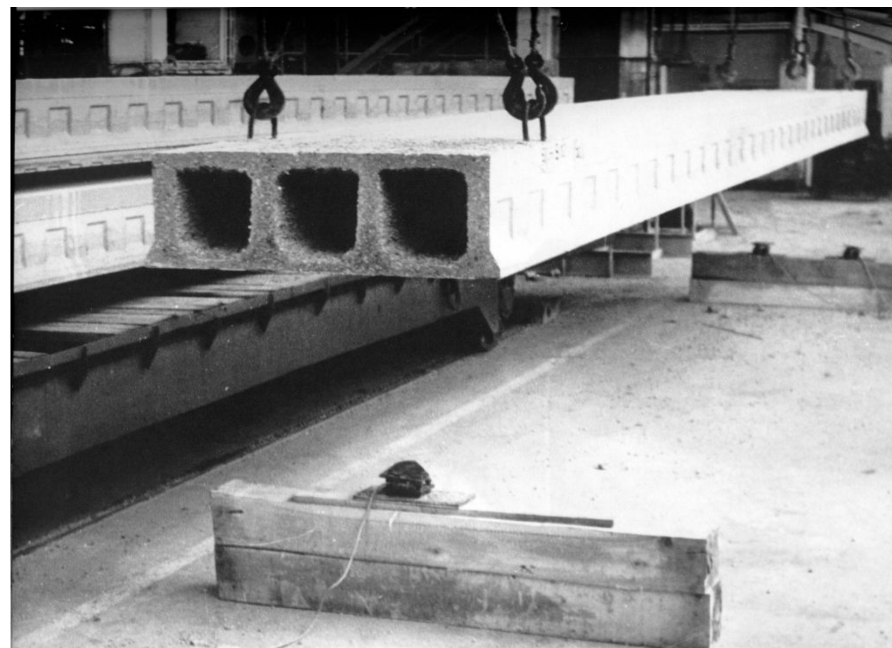



Hét- és három-eres feszítőpászmák, a felső korrózió elleni bevonattal ellátva

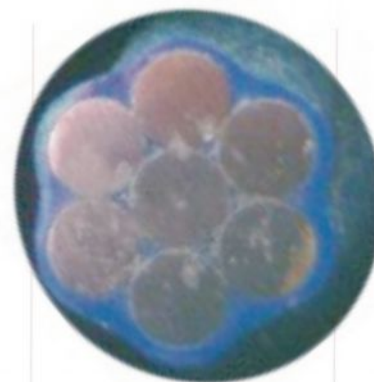

Feszítőhuzalok lehorgonyzása
2010/5/26 9:47

A felhajlási, szögforgási és nyomatéki ábrák vázlata

Vasbetontartó feszítésének értelme



Hét-eres pászmákkal feszített Span-Deck vasbeton födémpalló



Korrózió elleni bevonattal ellátott hét-eres feszítőpászma

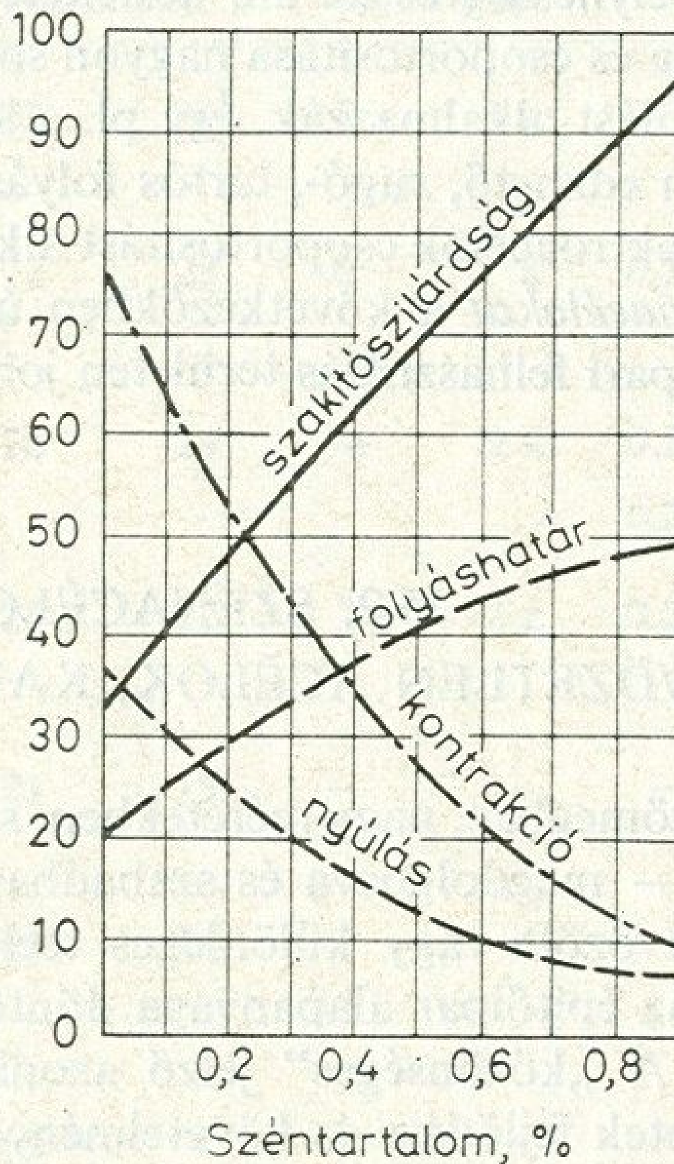
Az acél széntartalma

Acéloknak azokat a — nyersvas feldolgozásával nyert — kis széntartalmú vas-szén ötvözeteket tekintjük, amelyek széntartalma kevesebb, mint 2,06 tömeg%.

Az öntött acélok széntartalma 1,70 – 2,06 tömeg%, a tulajdonképpeni építőipari acélok széntartalma kevesebb, mint 1,7 tömeg%.

A szén az acél legfontosabb ötvözője. A széntartalom növekedésével növekszik a betonacél folyáshatára és szakítószilárdsága, csökken a nyúlása, kontrakciója és ütőmunkája (lásd az ábrát a következő oldalon).

Az acélok nyomódiagramja hasonló a húzódiagramjukhoz, de a nyomószilárdság a húzószilárdságnál valamivel nagyobb, ezért a húzószilárdságot tekintik mértékadónak, és a nyomószilárdságot általában nem vizsgálják.



VI. 139. ábra

A széntartalom hatása az acél mechanikai tulajdonságaira

Forrás:
***Dr. Palotás László*:**
Fa –kő – fém – kötőanyagok. Mérnöki szerkezetek anyagtana, 2. kötet. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1979.

Az acél hegeszthetősége

A szenen kívül más ötvözőt nem tartalmazó ún. ötvözetlen szénacél általában akkor hegeszthető, ha a széntartalma legfeljebb 0,22 – 0,25 tömeg%.

A hegeszthető acél ne legyen edzhető. (Edzés az a hőkezelési eljárás, amikor az acélt felmelegítik 950 °C fölé, majd nagy sebességgel lehűtik. Az edzés célja a nagykeménységű szövetszerkezet előállítása. Az erősen edzett acélok üvegszerűen ridegek.)

A nem edzhető acél-ötvözetek az edzhetőknél puhábbak, ezért azokat lágyvasnak (lágyacélnak) nevezik, ezt az elnevezést sokszor a betonacél szinonimájaként használják.

A betonacélokat <u>meleg hengerléssel</u> vagy <u>hideg alakítással</u> gyártják.

A 0,22 – 0,25 tömeg%-nál nem nagyobb széntartalmú *melegen hengerelt betonacélok* (MSZ 339:1987) és a legfeljebb 0,2 tömeg% széntartalmú *hidegen alakított (hidegen hengerelt és hidegen húzott) betonacélok* („hálóacélok", MSZ 982:1987 és DIN 488-1:2009) jól hegeszthetők.

A *hidegen húzott feszítőhuzalok* (ötvözetlen acélhuzalok, MSZ 5720:1993, prEN 10138-1:2000, DIN EN 10138-1:2000, MSZ EN 10027-1:2017) széntartalma 0,45 – 0,80 tömeg%, tehát nem hegeszthetők.

A szénen kívül más ötvözőt is tartalmazó, ún. ötvözött szénacél hegeszthetőségét az ötvöző elemek (szén, mangán, króm, molibdén, vanádium, nikkel, réz,) mennyiségét is figyelembe vevő szénegyenérték (C_{ekv}) fejezi ki, amelynek megengedett legnagyobb értéke a hegesztendő anyag vastagságától (*d*) függ, elegendő üzembiztonság mellett például

d = 6,35 mm esetén $C_{ekv} \leq$ 0,45 tömeg%,
d = 12,7 mm esetén $C_{ekv} \leq$ 0,40 tömeg%,
d = 25,4 mm esetén $C_{ekv} \leq$ 0,35 tömeg%.

Forrás: *Balázs György*: Építőanyagok és kémia. Tankönyvkiadó. Budapest, 1984. 12.7. táblázat.

A szénegyenértéket (C_{ekv}, ill. C_{eq}) a hegeszthető betonacélokra az MSZ EN 10080:2005 európai szabvány az anyagvastagságtól függetlenül a következő képletből számítja ki:

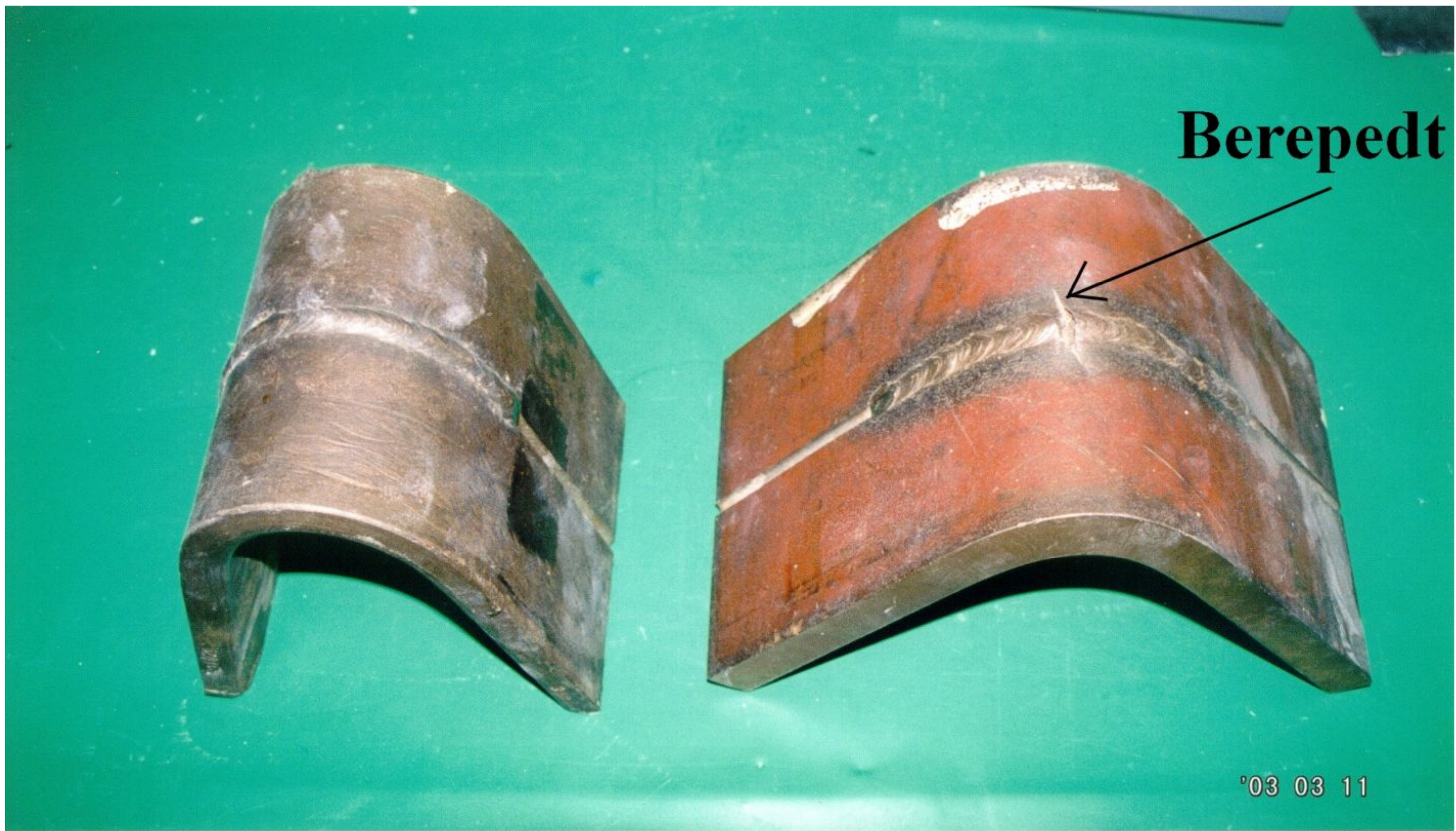
$$C_{eq}{}^{\%} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

és a hegeszthetőség feltételeként

olvadékvizsgálat esetén $C^{\%} \leq 0{,}22$ **és**
$C_{eq}{}^{\%} \leq 0{,}50$ **tömeg%;**

termékvizsgálat esetén $C^{\%} \leq 0{,}24$ **és**
$C_{eq}{}^{\%} \leq 0{,}52$ **tömeg%**

követelményt támasztja.

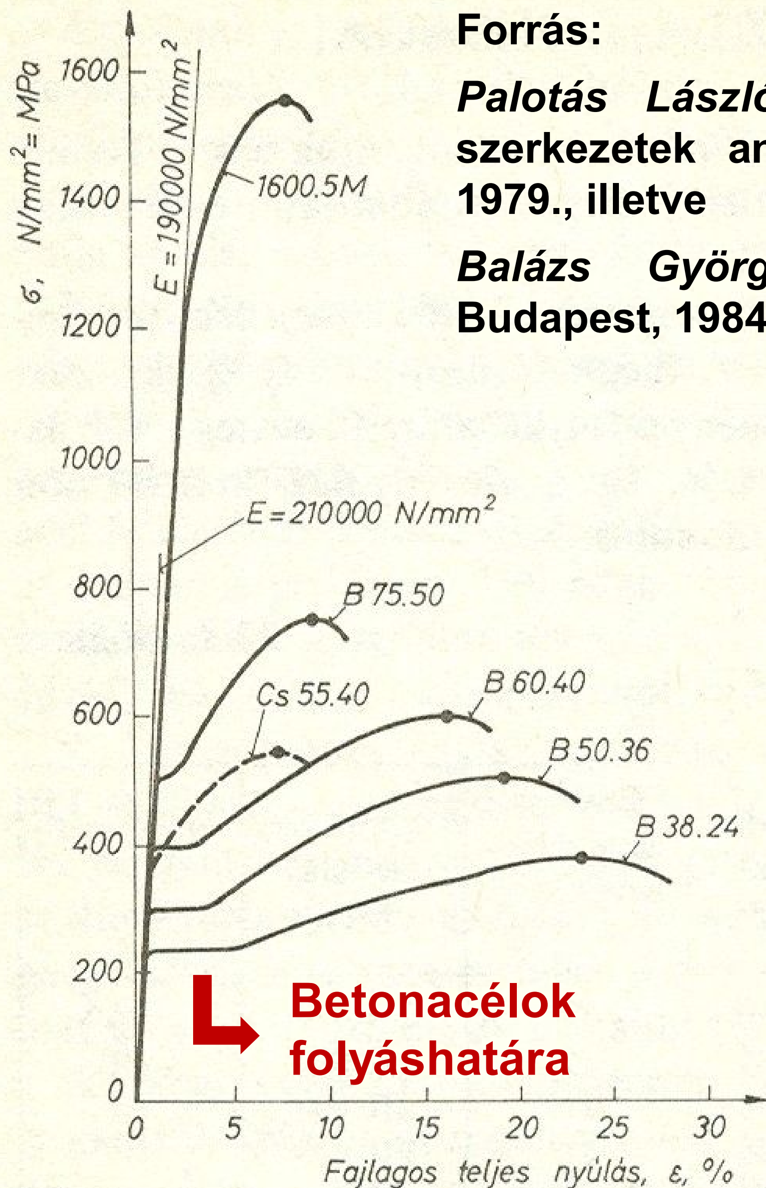


Hegesztési varrat vizsgálata hideghajlítással

Forrás:

Palotás László: **Fa – kő – fém – kötőanyagok. Mérnöki szerkezetek anyagtana. 2. kötet. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1979., illetve**

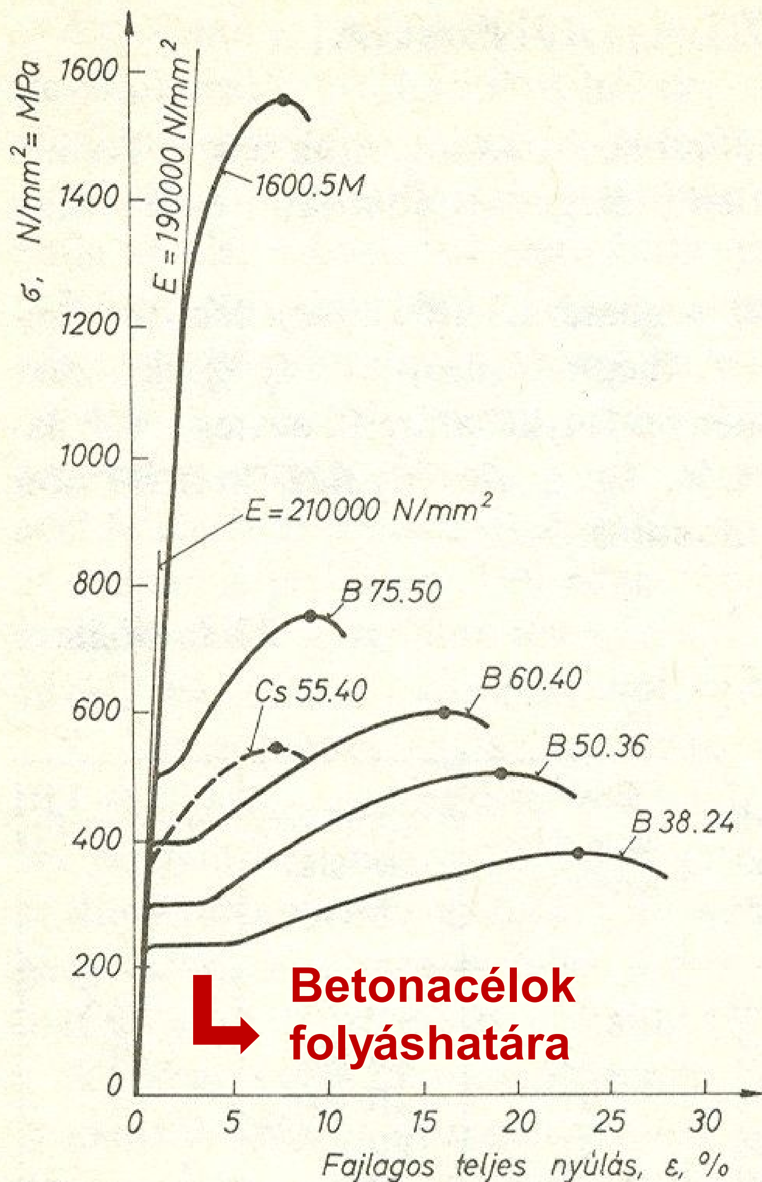
Balázs György: **Építőanyagok és kémia. Tankönyvkiadó. Budapest, 1984.**



12.10. ábra. Betonacélok jellegzetes σ–ε diagramjai

Betonacélok és feszítőhuzalok jellegzetes feszültség – fajlagos alakváltozás diagramja

Az ábra különböző szakítószilárdságú melegen hengerelt (jele B) és csavart betonacélok (jele Cs), valamint hidegen húzott feszítőhuzal (jele: 1600.5M) jellegzetes feszültség – fajlagos alakváltozás (*σ – ε*) diagramját egy koordináta-rendszerben ábrázolva veti össze.



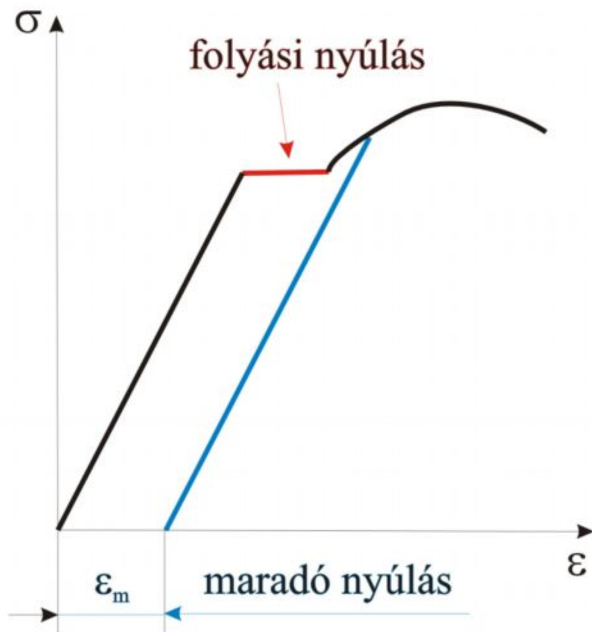
12.10. ábra. Betonacélok jellegzetes σ–ε diagramjai

Az ábrán megfigyelhető, hogy a szilárdság növekedésével csökken a legnagyobb teherhez tartozó nyúlás és a szakadó nyúlás (amely utóbbit olykor teljes nyúlásnak is nevezik) is.

Az *ábrán* az *E* = 210.000 N/mm² a melegen hengerelt betonacél,

az *E* = 190.000 N/mm² a hidegen húzott feszítőhuzal kezdeti rugalmassági modulusa.

A **folyási nyúlás** (németül: Lüdersdehnung), vagy más szóval nyúlás a folyás alatt a maradó nyúlás (plasztikus vagy képlékeny alakváltozás) része.



Az ábra forrása: http://vergleichsspannung.de/glossar/luedersdehnung/

A folyás jelenségét a beágyazott (idegen) szén és nitrogén atomok (C, N) és az atomi rácssíkok akadályozott átrendeződése együttes hatására vezetik vissza. A szövetszerkezetbe beágyazott idegen atomok környezetében a húzás folytán a kristályrács hézagai kissé megnőnek ($a_1 > a_2$), itt az idegen atomok feldúsulnak, és akadályozzák a rácssíkok rugalmas alakváltozását. Az idegen atomok (ezek mérete az alapszövet atomjainál kisebb) felhalmozódását a húzófeszültségi tartományban *Cotrell*-felhőnek nevezik.

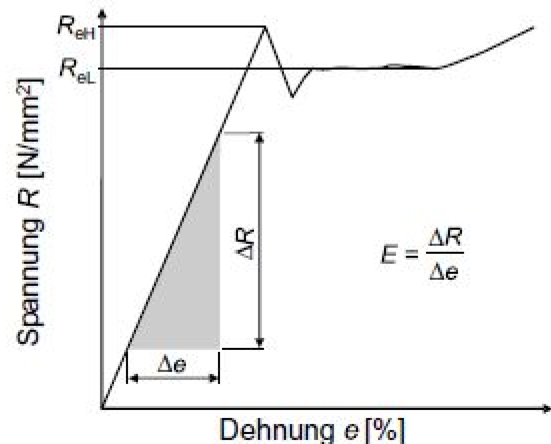


Bild 2-11 Bestimmung des Elastizitätsmoduls aus dem Anstieg der Hookeschen Geraden

Rugalmassági modulus értelmezése

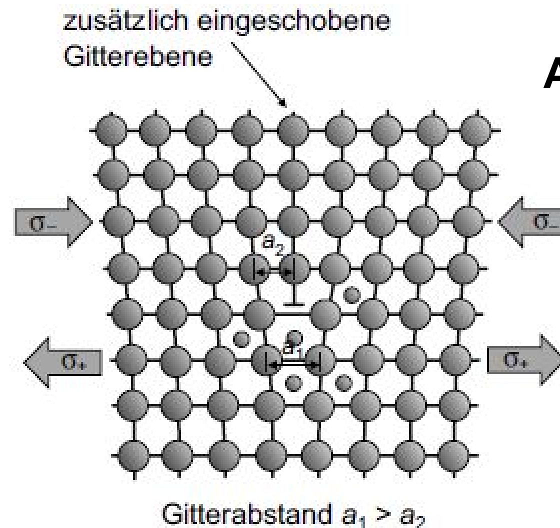


Bild 2-12 Interstitiell gelöste Fremdatome lagern sich bevorzugt im Zugspannungsfeld von Versetzungen ein (Cotrell-Wolke) und behindern die Versetzungsbewegung

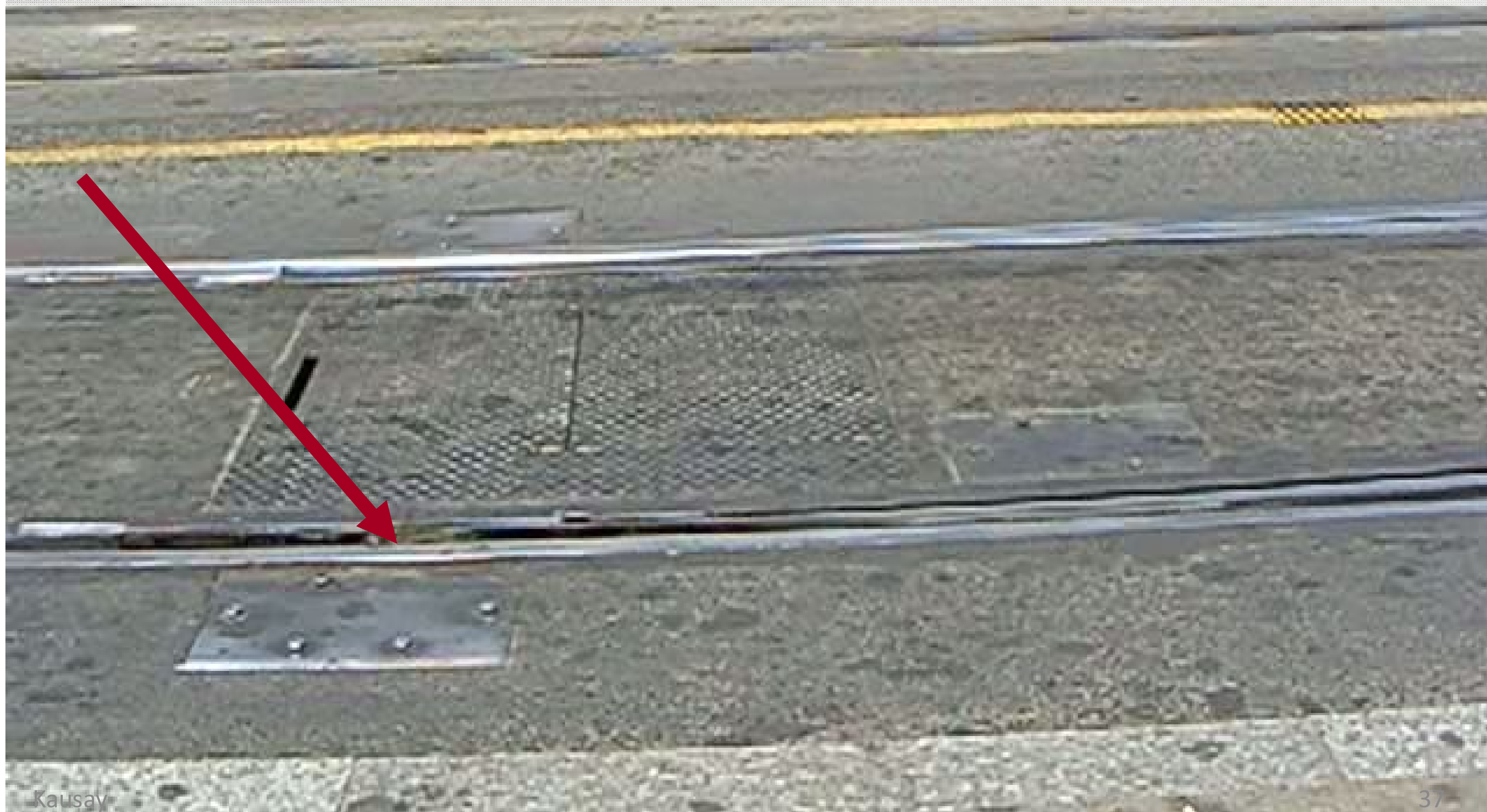
Forrás: *Frank Hahn:* Werkstofftechnik-Praktikum. Hanser Verlag, 2015. és

Thiele Ádám (WTOSJ2, BME, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, Házi feladat, 2011.: A szilárdságnövelés lehetőségei

Az acél rugalmasságát jól szemlélteti a csúcssín hajlása, figyeljék meg:

http://www.betonopus.hu/notesz/kutyanyelv/csucssin/csucssin.ppt

http://www.betonopus.hu/notesz/kutyanyelv/csucssin/csucssin.wmv



A betonacélok legfőbb jellemzője a folyáshatárnak nevezett feszültség, amelyet a lényegében változatlan erő mellett fellépő nyúlások jellemeznek.

Az ún. felső folyáshatár elérése után a $\sigma - \varepsilon$ ábra kissé visszaesik, és ezt az ún. alsó folyáshatárt felkeményedő szakasz követi egészen a szakadásig. A termékszabványok általában a felső folyáshatárt nevezik meg.

A hideg átalakítás során a melegen hengerelt csavart betonacélok és az ugyancsak melegen hengerelt acélból gyártott hidegen húzott feszítőhuzalok elvesztik folyáshatárukat.

A hidegen alakított acéloknak, számos ausztenites rozsdamentes acélnak, alumínium- és rézötvözetnek stb. nincs határozott folyáshatára.

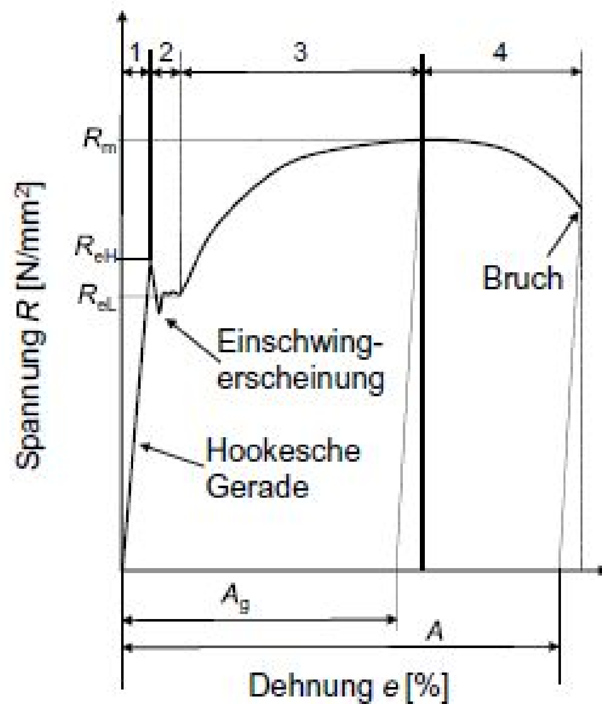


Bild 2-9 Spannung-Dehnung-Diagramm eines Werkstoffs mit ausgeprägter Streckgrenze

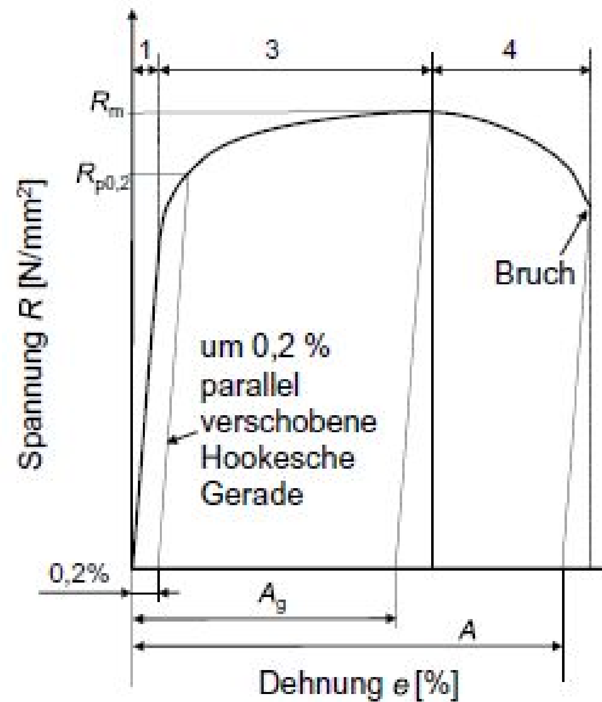


Bild 2-10 Spannung-Dehnung-Diagramm eines Werkstoffs ohne ausgeprägte Streckgrenze

Forrás:
Frank Hahn:
Werkstofftechnik-Praktikum. Hanser Verlag, 2015.

Feszültség-nyúlás ábra folyáshatárral és folyáshatár nélkül

Hookesche Gerade = Hook-egyenes

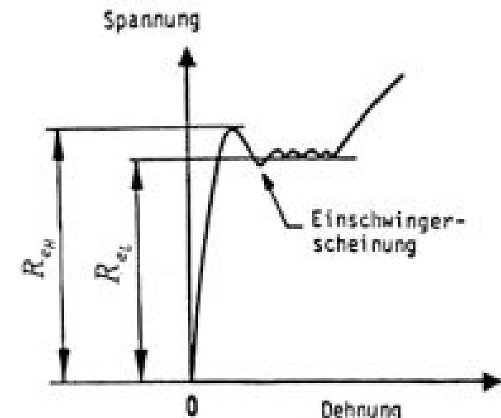
Bruch = Törés

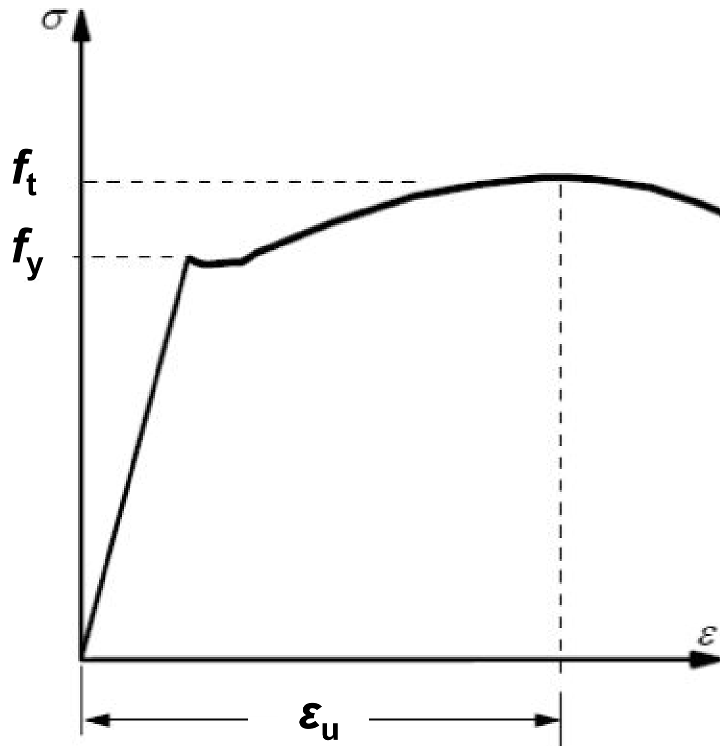
1	Bereich der elastischen Verformung
2	Bereich der Lüdersdehnung
3	Bereich der Gleichmaßdehnung
4	Bereich der Brucheinschnürung
R_{eH}	obere Streckgrenze
R_{eL}	untere Streckgrenze
$R_{p0,2}$	0,2 %-Dehngrenze (Dehngrenze bei plastischer Extensometerdehnung von 0,2 %)
R_m	Zugfestigkeit
A_g	Gleichmaßdehnung
A	Bruchdehnung

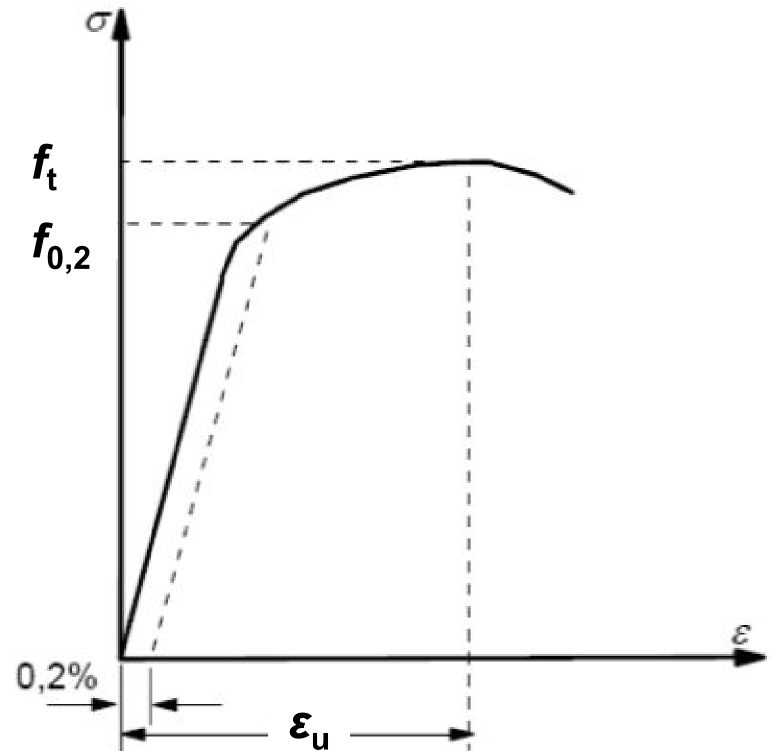
1. **Rugalmas alakváltozás tartománya**
2. **Folyási nyúlás tartománya**
3. **Egyenletes nyúlás tartomány**
4. **Befűződési tartomány**

R_{eH} Felső folyáshatár
R_{eL} Alsó folyáshatár
$R_{p0,2}$ 0,2%-os nyúlási határ
R_m Húzószilárdság
A_g Egyenletes megnyúlás
A Törési megnyúlás

Einschwingerscheinung (belengési jelenség) = A folyáshatár legmélyebb pontja, amelyet nem szokás figyelembe venni



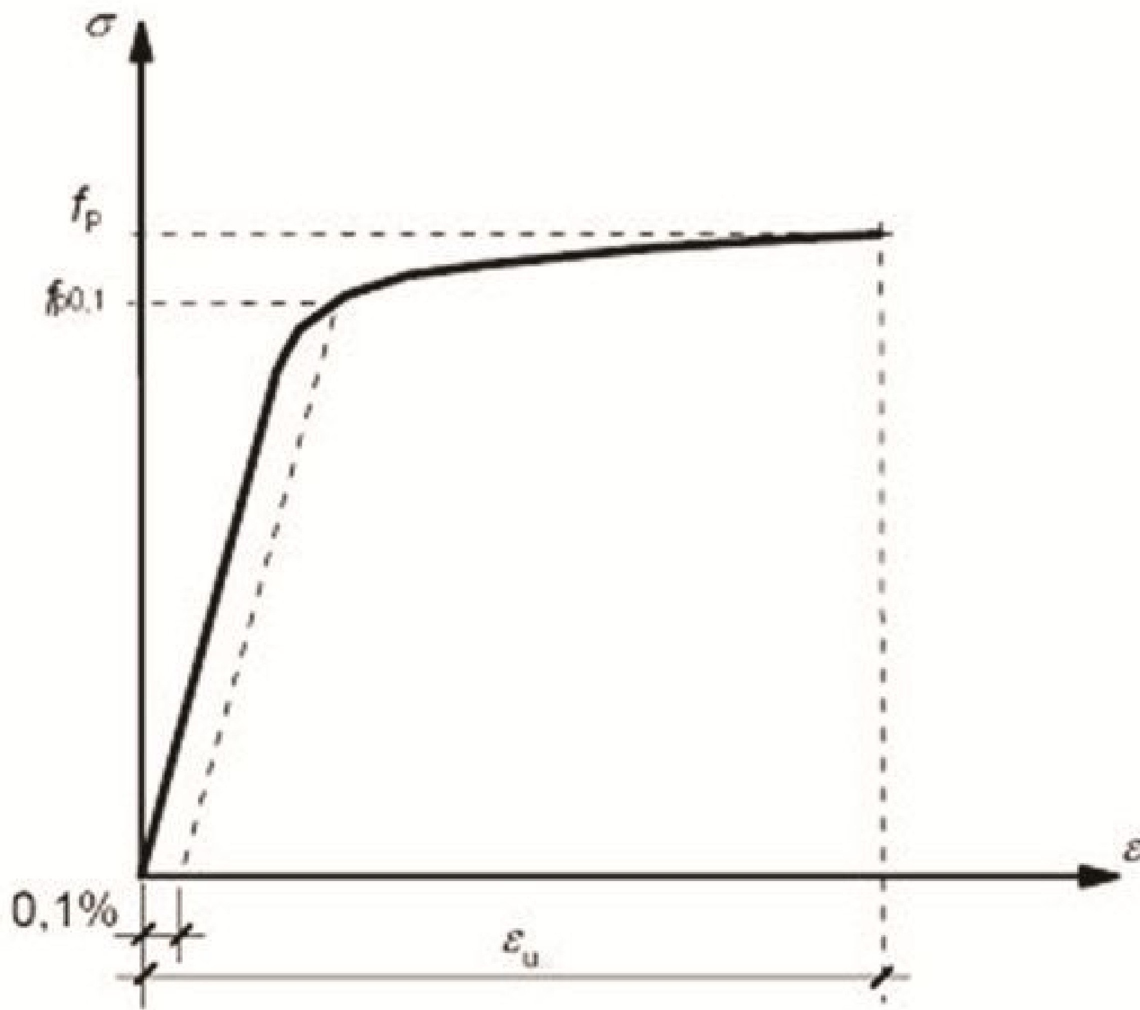




Melegen hengerelt betonacél **Hidegen alakított betonacél**
húzófeszültség – fajlagos megnyúlás diagramja

A 0,2% maradó nyúláshoz tartozó névleges folyáshatár ($f_{0,2}$)
(nevezik 0,2%-os egyezményes folyáshatárnak is)

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 3.7. ábrája



Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 3.9. ábrája: Feszültség-alakváltozás diagram szokásos feszítőacélhoz

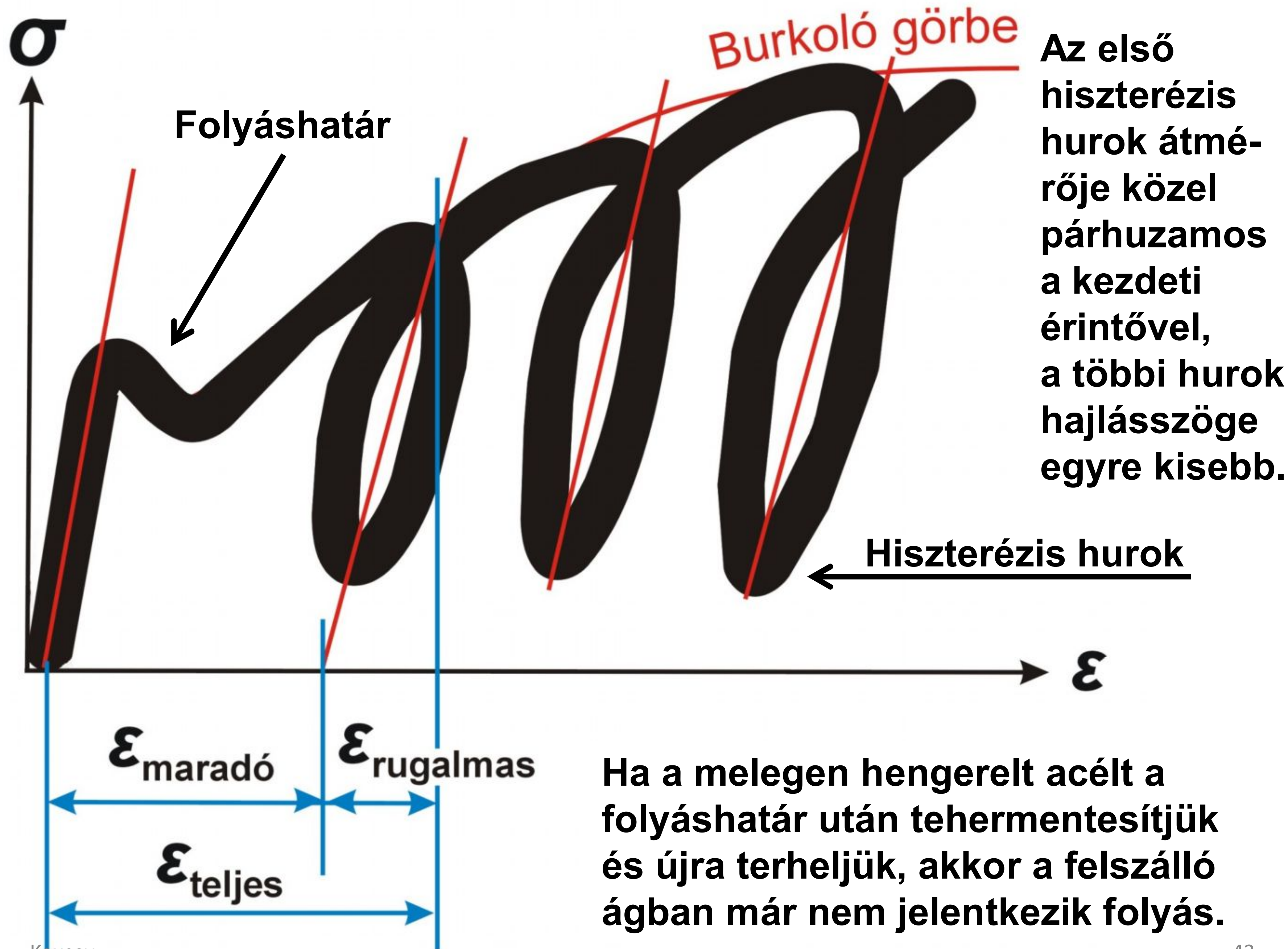
A 0,1% maradó nyúláshoz tartozó névleges folyáshatár ($f_{p0,1}$) (nevezik 0,1%-os egyezményes folyáshatárnak is), illetve a húzószilárdság (f_p) értéke egyenlő a 0,1% maradó nyúláshoz tartozó teher, illetve a legnagyobb tengelyirányú teher értéke és a névleges keresztmetszeti terület hányadosával az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 3.9. ábrának értelmezése szerint.

A betonacél folyáshatárának az igénybevehetőség szempontjából nagy jelentősége van.

A beépített betonacél a határszilárdságig terhelhető, amely határszilárdság a folyáshatár és a biztonsági tényező hányadosa.

A hidegen húzott feszítőhuzalok sem vehetők igénybe a szakítószilárdságig, hanem csak a számítással meghatározható névleges, vagy egyezményes folyáshatár és a biztonsági tényező hányadosát képező határszilárdságig.

A határszilárdság meghatározásához az épületek acélszerkezeteire vonatkozó MSZ EN 1993-1-1:2009 (Eurocode 3) szabványtervezet szerint a melegen hengerelt szerkezeti acél képlékeny teherbírásra vonatkozó biztonsági tényezőjének az értéke 1,1. Az MSZ EN 1992-1-1:2010 (Eurocode 2) szabvány szerint a betonacél folyáshatárának, a feszítőhuzal és a feszítőpászma 0,1 %-os egyezményes folyáshatárának (azaz a 0,1% maradó nyúláshoz tartozó névleges folyáshatár) biztonsági tényezője 1,15.


σ
Burkoló görbe
Folyáshatár
Az első hiszterézis hurok átmérője közel párhuzamos a kezdeti érintővel, a többi hurok hajlásszöge egyre kisebb.
Hiszterézis hurok
ε
$\varepsilon_{maradó}$
$\varepsilon_{rugalmas}$
ε_{teljes}
Ha a melegen hengerelt acélt a folyáshatár után tehermentesítjük és újra terheljük, akkor a felszálló ágban már nem jelentkezik folyás.

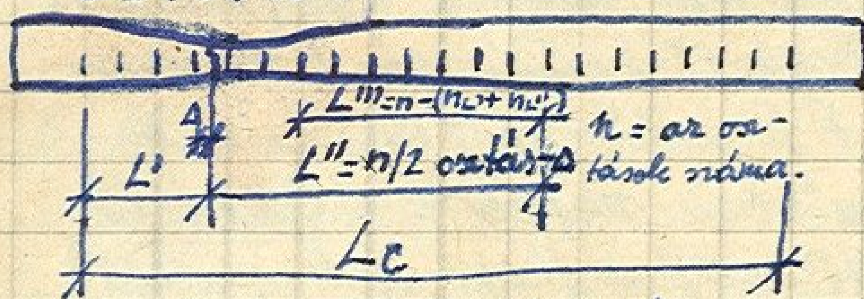


Névleges átmérő, $d_{\text{névl}}$ = 12 mm

Megnyúlás 5×$d_{\text{névl}}$ = 60 mm hosszon: $\Delta L_{5\times d}$ = 73,64 – 60 = 13,64 mm

Fajlagos megnyúlás 5×$d_{\text{névl}}$ = 60 mm hosszon: $\varepsilon_{5\times d}{}^{\%}$ = 100×$\Delta L_{5\times d}$/60 = 22,7%

Ha a szakadás a jeltávolság középső harmadán kívül következett be, akkor a kapott mérési eredményt javítani kell. A kísérlet előtt a próbapálca jeltávolságát 10



illetve 20 részre osztjuk be. Elszakítás után a szakadás helyéhez legközelebb eső osztó helyet 0-val jelölve, a többi jelet sorjában 1, 2, 3 stb... számmal látjuk el mindkét oldalon. A rövidebb darabon lemérjük a szakadástól a jeltávolság végéig az L' hosszúságot, a hosszabb darabon a szakadás helyétől a szakítás előtti fél jeltávolságnak megfelelő osztásig mért L'' hosszúságot, és kisebbik részből a féljeltávolsághoz hiányzó részt, L'''-t. Azaz a hosszabb oldalon rendelkezésre álló megnyúlt féljeltávolsághoz hozzá adjuk a rövidebb rész ren- (fél) delkezésre álló megnyúlt törtjeltávolságát és még kiegészítjük ez utóbbiból hiányzó, ezt megnyúlt féljeltávolsággá tevő, a hosszabb oldalon visszamért szakasszal. $L_c = L' + L'' + L'''$

***Beer – Kiss – Párkányné*: Fémismeret és gépgyártás-technológia. Mezőgazdasági Kiadó, 1961.**

Régebben a mérési alaphossz $L_0 = 10 \times d$ volt, most $5 \times d$.

Kontrakció nélküli, rideg szakadási felület

Szépen kontrahált szakadási felület

Melegen hengerelt betonacél '03 03 11

Kontrakció = Befűződés = A keresztmetszeti terület (A_0) csökkenésének (A_0 - $A_{kontrahált}$) fajlagos értéke a szakadás helyén:

$$Z^{\%} = \frac{A_0 - A_{kontrahált}}{A_0} \times 100 = \frac{d_0^{\,2} - d_{kontrahált}^{\;\;2}}{d_0^{\,2}} \times 100$$

Az acélok jelölése

Az acélok jelölése a korábbi évtizedekben szokásos jelölésekhez képest napjainkra megváltozott.

Amíg korábban a betonacél jelében a betűjelet követően általában folyáshatár és a szakítószilárdság kp/mm²-ben kifejezett követelmény értéke állt, addig napjainkban a betonacél szilárdsági tulajdonságainak követelményeként a folyáshatár (jele: R_e, újabban f_y) N/mm²-ben kifejezett jellemző (karakterisztikus) értékét (f_{yk}) használják.

Az MSZ 339: szabvány szerint a folyáshatár tapasztalati (mért) átlagértékéből ($f_{ym,test}$) a folyáshatár tapasztalati jellemző értéke ($f_{yk,test}$) a következő összefüggéssel számítandó ki:

$$f_{yk,test} = f_{ym,test} - k_n \times s_{test}$$

ahol: k_n = a próbapálcák számától függő tényező (n = 5 estén 1,97);
s_{test} = a mért folyáshatár értékek szórása, N/mm²

A korábbiakhoz képest a betonacél folyáshatára a szakítószilárdsághoz közelebb esik (*A*, *B*, *C* duktilitási osztály), a szilárdsági követelmény megnövekedett, az MSZ EN 1992-1-1:2010 (Eurocode 2) szabvány szerint a vasbetonszerkezetek 400-600 N/mm² folyáshatárú betonacéllal készüljenek.

A betonacél *A*, *B*, *C* duktilitási (alakíthatósági) osztályának egyik követelménye, a szakítószilárdság (f_t) és a folyáshatár (f_y) hányadosa jellemző (karakterisztikus) értékének megengedett legkisebb értéke, rendre:

$(f_t/f_y)_k \geq 1{,}05$ (*A* osztály);
$(f_t/f_y)_k \geq 1{,}08$ (*B* osztály);
$(f_t/f_y)_k \geq 1{,}15$ (*C* osztály), de $< 1{,}35$.

Ez a hányados mintegy 15 évvel ezelőtt még jelentősen nagyobb szám volt, azaz az újabb gyártmányok esetén a folyáshatár közelít a szakítószilárdsághoz.

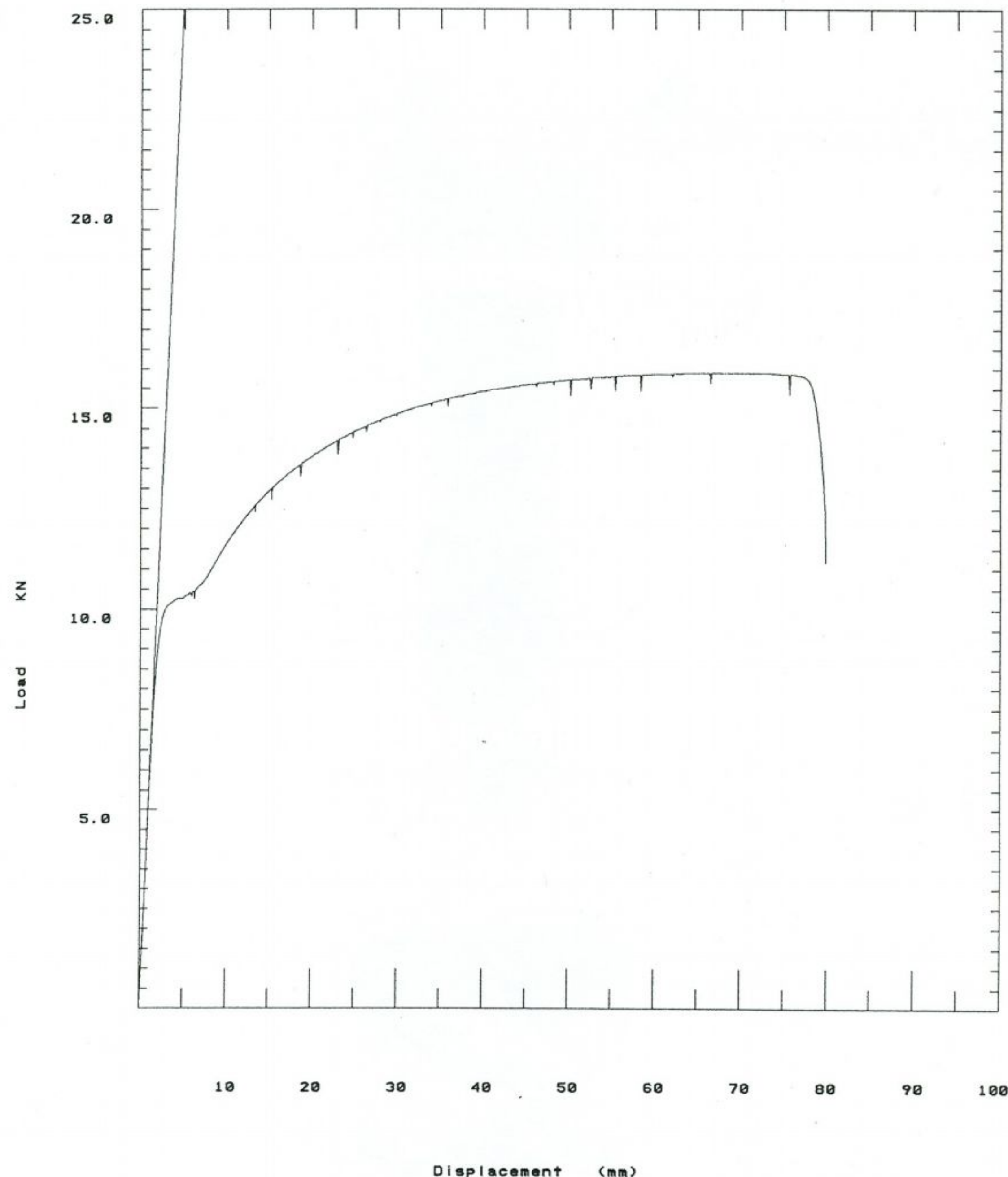
A másik követelmény a legnagyobb teherhez tartozó fajlagos megnyúlás jellemző (karakterisztikus) értékének megengedett legkisebb értéke, rendre:

$\varepsilon_{uk} \geq 2{,}5\%$ (*A* osztály);
$\varepsilon_{uk} \geq 5{,}0\%$ (*B* osztály);
$\varepsilon_{uk} \geq 7{,}5\%$ (*C* osztály)

(MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány C1. táblázatából).

Termékszabvány jele	Acél jele Példa	Folyáshatár		Szakítószilárdság	
		(kp/mm²)	N/mm²	(kp/mm²)	N/mm²
Általános rendeltetésű ötvözetlen, melegen hengerelt szerkezeti (szén)acél					
MSZ 500:**1974** visszavonva	A 50	(28-30)	275-294	(**50**-64)	490-628
MSZ EN 10025:**1990** visszavon.	Fe 510	–	335-355	–	490-**510**
MSZ EN 10025-1:**2005**	S 355	–	**335**-355	–	490-510
Melegen hengerelt hídszerkezeti acél					
MSZ 112:**1958** visszavonva	A 50.35.**12**	(**35**)	343	(**50**-60)	490-589
Melegen hengerelt betonacél vasbeton szerkezetekhez					
MSZ 339:**1987**	B 60.50	(**50**)	490	(**60**)	590
MSZ 982:**1987**	BHB 55.50	(**50**)	490	(**55**)	540
prEN 10080-1:**2004** visszavonva MSZ EN 1992-1-1:**2010**	S 500 A, B, C	–	420-**500**	–	
MSZ EN 10080:**2005** (Betonacél. Hegeszthető betonacél	Nincs jel	–	500	–	például 1,08·500=540
Hidegen alakított betonacél vasbeton szerkezetekhez					
MSZ EN 10080:**2005** (Betonacél. Hegeszthető betonacél)	Nincs jel	–	0,2%-os egyezményes folyáshatár jellemző (karakte-risztikus) értéke, legalább 500	–	például legalább 1,05×500 = 525
MSZ EN 10027-1:**2017** (Acélok jelölési rendszere. 1. rész: Az acélminőségek jele)	B500A	–	0,2%-os egyezményes folyáshatár jellemző (karakte-risztikus) értéke, legalább 500	–	például legalább 1,05×500 = 525

Termékszabvány jele	Acél jele Példa	Folyáshatár		Szakítószilárdság	
		(kp/mm²)	N/mm²	(kp/mm²)	N/mm²
Hidegen húzott feszítőhuzal feszített vasbeton szerkezethez					
C = a feszítőhuzal jele Ø = a névleges átmérő mm-ben			0,1 %-os egyezményes folyáshatár jellemző (karakterisztikus) értéke		Jellemző (karakterisztikus) érték
MSZ 5720:**1993**	1770.Ø	-	1450	-	**1770**
MSZ EN 10138-1:**2000**	Y 1770 C Ø	-	1450	-	**1770**
Feszítőpászma feszített vasbeton szerkezethez					
S = a pászma jele a huzalok számával (például 7 eres) Ø = a névleges átmérő mm-ben			0,1 %-os egyezményes folyáshatár jellemző (karakterisztikus) értéke		Jellemző (karakterisztikus) érték
MSZ EN 10138-3:**2000**	Y 1860 S 7 Ø	-	1580	-	**1860**



Példa a melegen hengerelt betonacél szakító diagramjára

Példaképpen számítsuk ki egy melegen hengerelt betonacél szilárdsági és alakváltozási jellemzőit, amelynek húzókísérlete során a következő adatokat mértük:

A próbapálca névleges átmérője: $d_{névl}$ = 12 mm

A próbapálca tömege: M = 695 g

A próbapálca hossza: h = 801 mm

A próbapálca befogási hossza (a megnyúlás mérési alaphossza): L_0 = 400 mm

A felső folyáshatárhoz tartozó húzóerő: $R_{e,felső,test,i}$ = 67,5 kN

A felső folyáshatárhoz tartozó megnyúlás: $\Delta L_{felső\ folyáshatár}$ = 11 mm

Az alsó folyáshatárhoz tartozó megnyúlás: $\Delta L_{alsó\ folyáshatár}$ = 17 mm

A szakítóerő: $R_{m,test,i}$ = 76,0 kN

A legnagyobb teherhez tartozó nyúlás: ΔL_u = 63 mm

A megnyúlás 5×$d_{névl}$ = 60 mm hosszon: $\Delta L_{5\times d}$ = 72,9 – 60 = = 12,9 mm

Befűződött átmérő a szakadás helyén (kontrahált átmérő): $d_{kontrahált}$ = 9,0 mm

Az acél testsűrűsége: $\rho_{acél}$ = 7,85 g/cm^3

Számítási eredmények:

A próbapálca helyettesítő keresztmetszeti területe:

$$A_0 = \frac{M}{\rho_{acél}} = \frac{695}{7{,}85 \cdot 80{,}1} = 1{,}105\ cm^2 = 110{,}5\ mm^2$$

A próbapálca helyettesítő átmérője:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot A_0}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 110{,}5}{3{,}14}} = 11{,}9\ mm$$

Folyáshatár:

$$\sigma_{folyáshatár} = \frac{R_{e,\,felső,\,test,\,i}}{A_0} = \frac{67500}{110{,}5} = 610{,}9\ N/mm^2$$

Megjegyzés: A szabványok nem a helyettesítő, hanem a névleges átmérővel és keresztmetszeti területtel számolnak.

A felső folyáshatárhoz tartozó fajlagos megnyúlás:

$$\varepsilon_{felső\ folyáshatár}^{\%} = \frac{\Delta L_{felső\ folyáshatár}}{L_0} \cdot 100 = \frac{11}{400} \cdot 100 = 2{,}75\ \%$$

Az alsó folyáshatárhoz tartozó fajlagos megnyúlás:

$$\varepsilon_{alsó\ folyáshatár}^{\%} = \frac{\Delta L_{alsó\ folyáshatár}}{L_0} \cdot 100 = \frac{17}{400} \cdot 100 = 4{,}25\ \%$$

Szakítószilárdság:

$$\sigma_{szakító} = \frac{R_{m,test,i}}{A_0} = \frac{76000}{110{,}5} = 687{,}8\ N / mm^2$$

Szakítóerő és a folyáshatárhoz tartozó erő hányadosa, a duktilitás (alakíthatóság) egyik jellemzője:

$$\frac{R_m}{R_e} = \frac{76{,}0}{67{,}5} = 1{,}13 \rangle 1{,}08 \Leftarrow a\ B\ duktilitási\ osztály\ egyik\ követelménye$$

Legnagyobb teher alatti nyúlás, a duktilitás (alakíthatóság) másik jellemzője:

$$\varepsilon_u{}^{\%} = \frac{\Delta L_u}{L_0} \cdot 100 = \frac{63}{400} \cdot 100 = 15{,}75\ \% \Leftarrow a\ C\ duktilitási\ osztály\ másik\ követelmény$$

Fajlagos megnyúlás 5·$d_{névl}$ (5·12 = 60 mm) hosszon

$$\varepsilon_{5 \cdot d}\% = \frac{\Delta L_{5 \cdot d}}{60} \cdot 100 = \frac{12{,}9}{60} \cdot 100 = 21{,}50\ \%$$

Kontrakció:

$$Z^{\%} = \frac{A_0 - A_{kontrahált}}{A_0} \cdot 100 = \frac{d_0{}^2 - d_{kontrahált}{}^2}{d_0{}^2} \cdot 100 = \frac{11{,}9^2 - 9{,}0^2}{11{,}9^2} \cdot 100 = 42{,}8\ \%$$

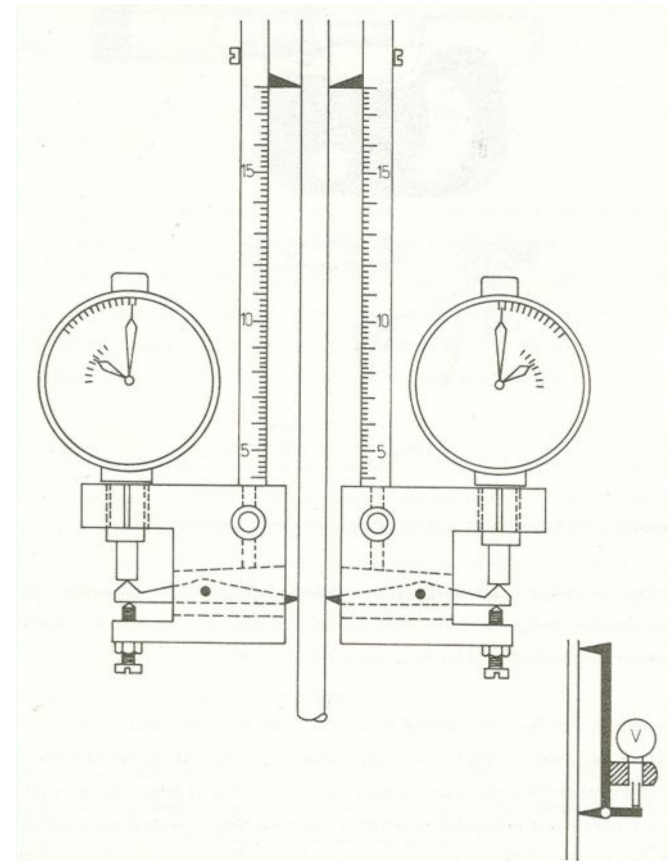
25.0
20.0
15.0
10.0
5.0

Load KN

2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 12.0 14.0 16.0 18.0 20.0

Displacement (mm)

Példaképpen
számítsuk ki egy hidegen húzott feszítőhuzal erő és — indikátor órákon leolvasott — nyúlás adataiból a *σ* - *ε* görbe pontjait.



Számpélda

Elmozdulás mérő indikátor óra



Feszítőhuzal σ–ε görbéjének felvétele

F, erő	Óraleolvasás, mm		$\Sigma\Delta l_{bal}$	$\Sigma\Delta l_{jobb}$	$\Sigma\Delta l_{átl}$	$\Sigma\Delta l_{javított}$	ε	σ
kN	bal	jobb	mm		mm	mm	%	N/mm^2
0	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0
6	0,516	0,271	0,000	0,000	0,000	0,164	0,149	305
10	0,629	0,380	0,113	0,109	0,111	0,275	0,250	508
14	0,740	0,490	0,224	0,219	0,222	0,386	0,351	712
18	0,846	0,598	0,330	0,327	0,329	0,493	0,448	915
22	0,953	0,708	0,437	0,437	0,437	0,601	0,547	1118
26	1,068	0,818	0,552	0,547	0,550	0,714	0,649	1322
30	1,119	0,947	0,603	0,676	0,640	0,804	0,731	1525
32	1,302	1,049	0,786	0,778	0,782	0,946	0,860	1627
34	1,770	1,512	1,254	1,241	1,248	1,412	1,283	1729
			Órák nullázása úgy, hogy az egyes óraleolvasásokból kivonjuk a kezdő óraleolvasást. Példa: 1,770-0,516=1,254		Előző két oszlop átlaga.	Kezdő nyúlás értékének javítása hasonló háromszögekből. Példa:	$\Sigma\Delta l_{javított}$ osztva az L_0 mérési alap-hosszal. Példa: $\frac{1,412}{L_0=110}*100=1,283$	F erő [N] osztva a névleges kereszt-metszettel ($19,67\ mm^2$)

$$\Delta l_{kezdő,javított} = F_{kezdő} * \frac{\Sigma\Delta l_{átlag}}{F}$$

A számpélda esetén:

$$0,164 = 6 * \frac{0,329-0,000}{18-6}$$



Mintegy 100-105 éve beépített sima betonacél
szakadási keresztmetszete
mintegy 500 °C és 25 °C hőmérsékleten

Az öreg betonacélnak mintegy 500 °C hőmérsékleten nem volt folyáshatára, illetve megfolyás után alig keményedett fel.

A mintegy 100-105 éve beépített sima betonacél felületén spirálvonal figyelhető meg.



Mintegy 100-105 éve beépített sima betonacél szakadási keresztmetszete

mintegy 500 °C és 25 °C hőmérsékleten

Öreg betonacél szakadási keresztmetszete mintegy 500 °C

és

mintegy 25 °C hőmérsékleten





A mintegy 100-105 éve beépített sima betonacél felületén spirálvonal figyelhető meg.
Mintha gyártáskor megcsavarták volna.

2017.05.25 14:54

Felhasznált irodalom:

Palotás László: Fa –kő – fém – kötőanyagok. Mérnöki szerkezetek anyagtana, 2. kötet. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1979.

Balázs György: Építőanyagok és kémia. Tankönyvkiadó. Budapest, 1984.

http://www.betonopus.hu/notesz/kutyanyelv/acelgyartas.pdf

http://www.betonopus.hu/notesz/kutyanyelv/acel-szilardsag.pdf

Köszönöm a szíves figyelmüket